

**UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMIERUNG DER
BELASTUNGSSTEUERUNG IM KRAFTTRAINING DURCH
KOMBINATION VERSCHIEDENER METHODEN DER TRAININGS-
BEGLEITENDEN LEISTUNGSDIAGNOSTIK**

Dissertation

Zur Erlangung des sozialwissenschaftlichen Doktorgrades der
Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen

vorgelegt

von

Amke Lottmann

aus Engerhufe (Krs. Aurich)

Göttingen 2002

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. André Niklas
2. Gutachter: Prof. Dr. Arndt Krüger

Tag der mündlichen Prüfung:: 03.07.2002

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	III
Begriffsbestimmungen.....	IV
1 EINLEITUNG / PROBLEMSTELLUNG.....	1
2 DER KRAFTBEGRIFF.....	8
3 KRAFT UND KRAFTTRAINING.....	16
3.1 Allgemeine Grundlagen	16
3.1.1 Physiologie	16
3.1.2 Biomechanik.....	19
3.2 Kraft als motorische Eigenschaft – Kraftfähigkeiten	20
3.2.1 Maximalkraft.....	20
3.2.2 Kraftausdauer	21
3.3 Methoden und Ziele im Krafttraining	22
3.3.1 Maximalkrafttraining	23
3.3.2 Kraftausdauertraining.....	26
4 BELASTUNGSSTEUERUNG IM KRAFTTRAINING	28
4.1 Sportwissenschaftliche Methoden.....	28
4.1.1 Apparative Meßverfahren.....	29
4.1.2 Das Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM).....	30
4.1.3 Das Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV)	30
4.2 Biochemische / medizinische Methoden.....	36
4.2.1 Intramuskuläre Substanzen	36
4.3 Psycho-physische Methoden	38
4.3.1 RPE-Skala	39
5 (KRAFT-) SPORT UND PSYCHE	41
5.1 Psychische Gesundheit	42
5.1.1 Wohlbefinden	42
5.1.2 Regulationskompetenz	44
5.1.3 Selbstkonzept / Körperkonzept	45
5.2 Sport und psycho-physisches Befinden.....	46
5.3 Erklärungsansätze für psychische Effekte durch Sport	47

6	METHODIK.....	51
6.1	Trainingsbedingungen und Trainingsgruppen.....	51
6.1.1	Probanden und Trainingsgruppen	51
6.1.2	Allgemeine Versuchsbedingungen.....	52
6.1.3	Trainingsmittel	54
6.1.4	Trainingsmethoden.....	61
6.2	Bestimmung der Parameter Maximalkraft, Leistung und Arbeit	62
6.2.1	Bestimmung der Maximalkraft	62
6.2.2	Bestimmung der Parameter Arbeit und Leistung	65
6.3	Biochemische Analysen	68
6.4	RPE-Skala / Subjektive Selbsteinschätzung	71
6.5	Statistik.....	72
6.6	Methodenkritik.....	73
7	ERGEBNISSE.....	80
7.1	Krafttraining.....	82
7.1.1	Darstellung der Ergebnisse.....	82
7.1.2	Erörterung der Ergebnisse	88
7.2	Biochemische Analysen	98
7.2.1	Darstellung der Ergebnisse.....	98
7.2.2	Erörterung der Ergebnisse	104
7.3	RPE-Skala	114
7.3.1	Darstellung der Ergebnisse.....	114
7.3.2	Erörterung der Ergebnisse	117
7.4	Psychische Effekte.....	124
7.4.1	Darstellung der Ergebnisse.....	124
7.4.2	Erörterung der Ergebnisse	127
8	DISKUSSION	131
9	ZUSAMMENFASSUNG.....	141
	Literaturverzeichnis	144
	Anhang	158
	Lebenslauf	
	Eidesstattliche Erklärung	

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

1-RM	One-Repetition-Maximum (=EWM)
ATP	Adenosintriphosphat
CK	Creatinkinase
EMG	Elektromyographie
EWM	Einer-Wiederholungs-Maximum
Fmax	Maximalkraft
Fmax ^{EWM}	Anhand des EWM bestimmte Maximalkraft
Fmax ^{LWV}	Anhand des LWV bestimmte Maximalkraft
FT-Fasern	Fast-Twitch-Fasern; d.h. schnell zuckende Muskelfasern
G1...G5	Gruppe 1.....Gruppe 5
h	Arbeitsweg, um den eine Last gehoben wird
H-FABP	Heart-Fatty Acid Binding Protein
H-FABP1	H-FABP-Probe vor der Belastung
H-FABP2	H-FABP-Probe nach der Belastung
IfS	Institut für Sportwissenschaften
LWV	Last-Wiederholungs-Verhältnis
m	Masse (hier: Trainingsgewicht)
M. / Mm.	Muskel / Muskeln
MB	Myoglobin
MB1	MB-Probe vor der Belastung
MB2	MB-Probe nach der Belastung
n	Stichprobenumfang
P	Leistung
P-W0	Probenahme Anfang der Studie
P-W2	Probenahme Ende der zweiten Trainingswoche
P-W3	Probenahme Anfang der dritten Trainingswoche
P-W4	Probenahme Ende der vierten Trainingswoche
P-W5	Probenahme Anfang der fünften Trainingswoche
P-W6	Probenahme Ende der sechsten Trainingswoche
RPE	Rating of Perceived Exertion (= Borg-Skala)
s	Standardabweichung
ST-Fasern	Slow-Twitch-Fasern; d.h. langsam zuckende Muskelfasern
V	Variationskoeffizient
W	Arbeit
W0	Trainingsbeginn (Woche 0)
W1-W5	Trainingswochen 1-5
W6	Trainingsende (Ende der 6ten Woche)
x	Arithmetisches Mittel
Äv	Geschwindigkeitsänderung

BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

- ♣ *Adaptationen*: Anpassungserscheinungen des Körpers auf eine (sportl.) Belastung. Ziel ist die Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Im Krafttraining reagiert der Körper auf bestimmte *Belastungsanforderungen* z.B. mit Muskelzuwachs oder einer erhöhten Kraftausdauer (vgl. Kap. 3)
- ♣ *Arbeit*: Die physikalische Arbeit W ist das Produkt aus Kraft und Weg und wird in Joule (J) oder Newtonmeter (Nm) angegeben (vgl. auch Kap. 6.2.2).
- ♣ *Beanspruchung*: Psycho-physische Reaktionen eines Individuums auf eine Belastung bzw. einen Trainingsreiz. Der Grad der Beanspruchung ist dabei sowohl von der Belastung als auch von den individuellen (konditionellen, koordinativen, gesundheitlichen etc.) Leistungsvoraussetzungen abhängig, d.h. eine gleiche Belastung kann für jedes Individuum eine unterschiedliche Beanspruchung darstellen.
- ♣ *Belastung, Belastungsanforderung* : Allgemein wird Belastung als die Summe aller Einflüsse bezeichnet, die von außen auf einen Menschen einwirken. Im Sport werden mit Belastung die im Training auftretenden Anforderungen beschrieben (*Belastungsanforderungen*), die durch die Übungsausführung, die B.intensität, dem B.umfang, der B.dichte sowie der B.dauer bestimmt werden.
- ♣ *Belastungsdiagnostik*: siehe Leistungsdiagnostik
- ♣ *Belastungsdauer*: Zeit der Belastungseinwirkung, d.h. im Krafttraining i.d.R. die Zeit (s), die für eine festgelegte Anzahl von Bewegungswiederholungen an einem Trainingsgerät benötigt wird.
- ♣ *Belastungsdichte*: Wird durch das Verhältnis von Belastung und Erholung bestimmt. Im Krafttraining die Pausenzeiten zwischen den Serien bzw. Übungen.
- ♣ *Belastungsintensität*: Stärke eines Reizes. Im Krafttraining die Größe des Widerstandes, gegen den eine Bewegung durchgeführt wird; häufig definiert in Prozent der Maximalkraft (vgl. Kap. 3.3)
- ♣ *Belastungsumfang*: Im Krafttraining wird der B.umfang durch die Last (in Kg) bestimmt, die in einer Trainingseinheit an den jeweiligen Übungen bewegt wird.
- ♣ *Belastungssteuerung*: Verfahren, mit dem eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen Belastung und beabsichtigter Beanspruchung hergestellt werden soll, mit dem Ziel, optimale Adaptationen des Körpers hervorzurufen.
- ♣ *Intensität*: Siehe Belastungsintensität
- ♣ *Isokinetik*: Ziel des an speziell dafür konstruierten Geräten stattfindenden Trainings ist eine gleichbleibende Bewegungsgeschwindigkeit während der gesamten Bewegungs-

ausführung, wobei der Widerstand elektromotorisch oder hydraulisch erzeugt wird. Die Geräte ermöglichen die Einstellung einer variabel wählbaren Winkelgeschwindigkeit, die sich der jeweils aufgebrachten Kraft des Probanden anpasst und nicht überschritten werden kann. Die entwickelte Muskelkraft wird in Drehmomente umgewandelt. Dies ermöglicht eine maximale dynamische Belastung während des gesamten Bewegungsablaufs, da sich der Widerstand den sich verändernden Spannungs- und Hebelverhältnissen an jedem Punkt der Bewegung anpasst. Wichtig wird dieser Faktor in den Endpunkten einer Bewegung, d. h. also bei extremer Beugung oder Streckung, da hier im Gegensatz zur mittleren Winkelstellung aufgrund einer biomechanisch/physiologisch bedingten verminderten Spannungsentwicklung (ungünstigerer Winkel zwischen Muskel und Hebelarm; zu große bzw. zu geringe Überlappung der kontraktilen Proteine) nur eine geringere Kraft entwickelt werden kann. Zudem bieten isokinetische Geräte die Möglichkeit eines konzentrisch/konzentrischen Trainings. Dies steht im Gegensatz zu einem Training an Sequenztrainingsgeräten, wo die Muskulatur bei der Rückbewegung nachgebend, d. h. exzentrisch arbeitet. Detaillierte Ausführungen zum Regelungsprozess bei isokinetischen Geräten sowie isokinetisches Training allgemein finden sich u. a. bei HEINOLD (1994) und FROBÖSE (1993).

- ♣ *Kraft; Kraftfähigkeit*: Ausführliche Erläuterungen in Kap. 2 und 3.2
- ♣ *Leistung*: Physikalisch ist L. die Geschwindigkeit, mit der eine Arbeit verrichtet wird bzw. Arbeit in Energie umgesetzt wird; d.h. L. ist das Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit und wird in Watt (W) oder Newtonmeter/Sekunde (Nm/s) angegeben (vgl. auch Kap.6.2.2).
- ♣ *Leistungsdiagnostik*: Ermittlung der Leistungsfähigkeit durch Erfassung, Bewertung und Beurteilung geeigneter sportwissenschaftlicher, sportmedizinischer (physiologischer) und/oder biochemischer Parameter. Die Leistungsdiagnostik bildet die Grundlage für eine fundierte Trainingssteuerung.
- ♣ *Leistungsfähigkeit*: Grundlage zur Bewältigung von Leistungsanforderungen; im Krafttraining das Vermögen, physikalische bzw. biochemische Energie in Kraft umzusetzen. Die Leistungsfähigkeit ist abhängig vom Leistungspotential, der Stressresistenz und der Erholungsfähigkeit.
- ♣ *Maximalkraft*: ausführliche Erläuterungen in Kap. 3.2.1.
- ♣ *Psychische Gesundheit*: ausführliche Erläuterungen in Kap. 5.1.
- ♣ *Trainingssteuerung*: Möglichst optimale Abstimmung aller Trainingsmaßnahmen in Hinblick auf die gewünschten Trainingsziele.

Sollte einer der hier aufgeführten Begriffe in einem abweichendem Sinne in der Arbeit auftreten, wird im Text darauf hingewiesen.

1 EINLEITUNG / PROBLEMSTELLUNG

In den heutigen Industriegesellschaften, in denen ein Großteil der schweren körperlichen Arbeiten von Maschinen übernommen wird und sich die menschlichen Tätigkeiten häufig auf langes Sitzen sowie feinmotorische Bewegungen reduzieren, gewinnt nicht nur der Sport als eine Form des Ausgleichs, sondern auch die Prävention und Rehabilitation der aus Bewegungsarmut entstehenden körperlichen Schäden zunehmend an Bedeutung. Dabei sollte sowohl im Sport als auch in Prävention und Rehabilitation die Frage nach der richtigen Belastung im Vordergrund stehen. Hierzu sind im Vorfeld zunächst die Fragen nach dem Wer und Was zu klären, d.h. was für eine Person/Personengruppe strebt welches Trainingsziel an (z. B. Fitness, Muskelaufbau, Rehabilitation). Erst danach kann über das Wie nachgedacht werden, d. h. welche Trainingsmethode mit welchen Belastungskomponenten (wie z. B. Intensität, Umfang, Dichte) soll angewendet werden.

Um möglichst optimale Trainingswirkungen zu erreichen, ist eine gezielte und effektive Belastungssteuerung und –diagnostik anzustreben, sei es im Leistungssport oder in der Prävention und Rehabilitation. Die gezielte Belastungssteuerung soll für das jeweils angestrebte Trainingsziel die optimalen Rahmenbedingungen schaffen und mittels geeigneter Leistungsdiagnostik die jeweiligen individuellen Fortschritte des Trainierenden einbeziehen. Dabei sind sowohl Unter- als auch Überforderungen zu vermeiden und die Trainingseinheiten so zu setzen, dass unerwünschte Nachwirkungen der vorangegangenen Trainingseinheit eliminiert sind, die Verbesserungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit jedoch erhalten bleiben (Zwei-Faktoren-Trainingstheorie).¹

Weiter ist zu bedenken, dass ein Training an Effektivität gewinnen kann, wenn die trainierende Person die richtige Einstellung zu ihrem Handeln hat; d. h. auch die Psyche und die Einstellung zum eigenen Körper spielen eine wesentliche Rolle. Nicht zu vergessen ist schließlich der Einfluss der äußeren Bedingungen (wie z. B. die Räumlichkeiten und die Trainingsgeräte) und des sozialen Umfelds (wie z. B. die Zusammenarbeit mit dem Trainer oder anderen Mittrainierenden) auf den Sportler bzw. den Trainingserfolg.

Spätestens an diesen Aspekten wird deutlich, dass Training ein komplexer Vorgang ist, der über eine Reihe unterschiedlicher Handlungen und Maßnahmen gesteuert und beeinflusst wird.

Was also ist nötig, um ein Krafttraining optimal zu gestalten? Sind im Vorfeld die Fragen nach dem Wer und Was geklärt, stehen zunächst die Bestimmung der opti-

¹ Vgl. ZATSIORSKY (1996, 28ff).

malen Lasthöhe, die Anpassung der Lasthöhe an den sich jeweils ändernden Leistungsstand sowie die Überprüfung der ausreichenden Regeneration zwischen den Trainingseinheiten im Vordergrund. Dies kann über verschiedene Verfahren erreicht werden. So wird die Lasthöhe i. d. R. über die Ermittlung der Maximalkraft durch Krafttests festgelegt und hiermit auch im Trainingsverlauf – ggf. unter zusätzlicher Einbeziehung psychophysischer und/oder biochemischer Methoden – an den jeweiligen Leistungsstand angepasst.² Zudem sollte die ausreichende Regeneration mittels geeigneter Diagnoseverfahren festgestellt werden. Schwieriger gestaltet sich die Eingliederung der psychischen und sozialen Komponenten in die Trainingssteuerung, da hier stark subjektive Aspekte einfließen.

Im Bereich des Ausdauersports gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen zur Belastungssteuerung mit Hilfe verschiedener Verfahren.³ Eine allgemein anerkannte und angewendete Methode ist die Belastungsdiagnostik mittels des biochemischen Parameters Laktat. Hier wird anhand der mit geeigneten Tests bestimmten und dann korrelierten Werte von Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Laktat die für eine gewünschte Trainingswirkung benötigte Trainingsintensität festgelegt, die während des Trainings über eine reine Messung der Herzfrequenz kontrolliert werden kann.⁴

Auch im Bereich des Kraftsports gibt es bereits verschiedene Untersuchungen bezüglich einer Korrelation der Belastungsintensität mit verschiedenen Parametern (wie z. B. Herzfrequenz, Atmung, Blutdruck, RPE-Skala, und biochemischen Parametern).⁵ Im Gegensatz zu den Ausdauersportarten ist hier jedoch bislang noch keine Methodenkombination in Hinsicht auf einen allgemeinen einfachen Gebrauch entwickelt worden. Wünschenswert wäre – analog zur Korrelation von Herzfrequenz und Laktat im Ausdauerbereich - eine Optimierung des Trainings durch die Steuerung mit einem möglichst einfach zu bestimmenden Parameter, der in einem Test ggf. durch die Messung und Korrelation verschiedener Parameter ermittelt werden müsste.

Für den Kraftsport, und damit auch für das rehabilitative Krafttraining, drängt sich vor diesem Hintergrund die Frage auf, ob und, wenn ja, wie eine gezielte Belastungssteuerung und -diagnostik alle Einfluss nehmenden objektiven und subjektiven Faktoren einbeziehen kann und inwieweit dies die gewünschten Trainingswirkungen optimiert.

² MARSCHALL/FRÖHLICH (1999, 313f) werfen in Folge eigener Untersuchungen die Frage auf, ob die in Relation zur Maximalkraft gewählten Belastungsintensitäten (Lasthöhe) und Wiederholungszahlen für ein effektives Krafttraining überhaupt nutzbar sind. Auf diese Problematik wird in den Kap. 4, 7.1 und 8 näher eingegangen.

³ Vgl. z. B. HOTTENROTT (1993) ; MARTIN (1993, 187ff).

⁴ Vgl. z. B. JANSSEN (1993).

⁵ Vgl. z. B.: TESCH/COLLIANDER/KAISER (1986, 362ff); LORENZ et al. (1993, 99ff); BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996, 170ff) u.a.

In der vorliegenden Arbeit soll den Fragen nachgegangen werden, wie die (methodischen und sozialen) Rahmenbedingungen für ein optimales (rehabilitatives) Krafttraining gestaltet sein müssen und ob mittels einer Kombination verschiedener Diagnostikverfahren eine optimierte und einfache Steuerung des Trainings möglich ist.

In Zusammenarbeit mit dem medizinischem Fachbereich der Universität Göttingen wurde Ende 1996 bis 1997 in Hinblick auf diese Fragestellung eine Pilotstudie durchgeführt, in der die biochemischen Parameter Heart-Fatty-Acid-Binding-Protein (H-FABP) und Myoglobin (MB) auf ihre Eignung hinsichtlich der Leistungsdiagnostik und Belastungssteuerung im (rehabilitativen) Krafttraining überprüft wurden.⁶

In einer Reihe verschiedener Untersuchungen konnte bereits wiederholt nachgewiesen werden, dass höhere physische Belastungen, wie sie z.B. im Ausdauersport oder Kraftsport erreicht werden, erhöhte Konzentrationen von MB und/oder H-FABP im Blut hervorrufen.⁷ Zudem zeigen einige der Untersuchungsergebnisse, dass wiederholte Belastungen Adaptationen des Körpers erzeugen, die sich u.a. in einem sinkenden Proteingehalt im Blut widerspiegeln.⁸ Diese Untersuchungen bilden den Ausgangspunkt für die ersten zwei Hypothesen der vorliegenden Arbeit.

Hypothese 1

Die Proteine H-FABP und MB sind geeignete biochemische Parameter für eine Belastungsdiagnostik im Krafttraining und können gezielt zur Belastungssteuerung des Trainings eingesetzt werden.

Hypothese 1a

Anhand der Parameter H-FABP und MB können sowohl aktuelle Belastungshinweise direkt im Anschluss an ein durchgeführtes Krafttraining als auch Adaptationen des Körpers im längerfristigen Trainingsverlauf festgestellt werden.

⁶ Der Pilotstudie liegt das DARA-Forschungsprojekt 50 WB 95552 mit dem Titel „Vergleichender Einsatz von Immunsensoren und ELISA-Technik zur Bestimmung von Myoglobin und H-Fatty Acid Binding Protein (H-FABP) in Plasma und Harn zur Diagnostik von Trainingswirkungen“ zugrunde. Die medizinische Auswertung der Ergebnisse erfolgte im Rahmen einer Inaugural-Dissertation (WILDENAU, 2000).

⁷ Vgl. u. a. BARWICH et al. (1982); SYLVÉN/JANSSON/BÖÖK (1984); LANGER et al. (1985), GLATZ/VAN DER VUSSE (1990), NOSAKA,/CLARKSON/APPLE (1992), LORENZ et al. (1993), VAN NIEUWENHOVEN et al. (1995), OHKAHRU et al. (1995), GOODMAN et al. (1997), ISHII et al. (1997), GLATZ et al. (1998), SCHAAP/VAN DER VUSSE/GLATZ (1998). SORICHTER et al. (1998), DE GROOT et al (1999), LUIKEN et al. (1999), SUZUKI et al. (1999) STORCH/THUMSER (2000), GHANI et al. (2000) und SORICHTER et al. (2001),

⁸ Vgl. z. B. NØRREGARD HANSEN et al. (1982), NOSAKA,/CLARKSON/APPLE (1992) und McHUGH et al. (1999) sowie die Ausführungen im Kap. 7.2.

Begründung: Die beiden biochemischen Parameter reagieren sensibel auf physische Belastungen. Die Höhe der Ausschüttungen in das Blut liefert einen Anhaltspunkt für die Höhe der Belastung. Durch die Aufstellung von Normwerten können Aussagen darüber getroffen werden, ob die vorangegangene Belastung zu hoch oder zu niedrig war und evtl. angepasst werden muss. Durch die Feststellung von Adaptationen des Körpers auf gleichbleibende Belastungen können Trainingsreize ggf. neu gesetzt werden.

Die Eignung der beiden Parameter zur Belastungssteuerung wurde im Rahmen eines sechswöchigen Krafttrainings mit Probanden sowie Patienten der orthopädischen Rehabilitation untersucht. Es wurden verschiedene Gruppen gebildet, die mit unterschiedlichen, normierten Trainingsmethoden sowie z. T. unterschiedlichen Trainingsmitteln arbeiteten. Mit den verschiedenen Trainingsmethoden sollte nachgewiesen werden, dass die Belastungsdiagnostik mittels H-FABP und MB für ein breites Spektrum des Krafttrainings (d.h. im präventiven/freizeitsportlichen als auch rehabilitativen Bereich) Gültigkeit besitzt und dementsprechend unabhängig von der Trainingsmethode sowie den Trainingsmitteln einsetzbar ist. Daraus ergibt sich die an Hypothese 1 anknüpfende Hypothese 1b.

Hypothese 1b

Die Eignung von H-FABP und MB für eine Belastungsdiagnostik und -steuerung im Krafttraining ist unabhängig von den jeweils eingesetzten Krafttrainingsmitteln und -methoden.

Begründung: Für den Einsatz im Kraftsportbereich sind die beiden Parameter nur dann sinnvoll, wenn sie unabhängig von den verschiedenen Trainingsmitteln und -methoden eindeutige Ergebnisse liefern.

Die Trainingsmethoden sollten unterschiedliche und bestimmbare Parameterzunahmen im Kraftbereich unter Ausschluss traumatischer Muskelschädigungen gewährleisten, da Muskelschäden (d.h. ggf. auch Muskelkater) zu einem unbeabsichtigten Anstieg der biochemischen Parameter führen können. Die Trainingsmethoden und -mittel wurden daher so gewählt, dass sie eine hinreichende Parameterauslenkung sowohl bezüglich der Bestimmung von Kraft, Leistung und Arbeit als auch hinsichtlich der biochemischen Parameter Myoglobin und H-FABP erwarten ließen und zudem für Patienten mit geschädigten Bändern, Gelenken o. ä. praktikierbar waren. In Hinblick auf diese Vorgaben wurden verschiedene 'klassische' Trainingsmethoden zum Aufbau von Maximalkraft und Kraftausdauer gewählt. Grundlage für die Auswahl der verschiedenen Methoden ist die Hypothese 2.

Hypothese 2

Allgemein anerkannte, „klassische“ Trainingsmethoden der Maximalkraft und der Kraftausdauer generieren differenzierte Trainingsergebnisse hinsichtlich der Parameter Maximalkraft, Arbeit und Leistung.

Begründung: In Literatur und Praxis haben sich verschiedene Trainingsmethoden durchgesetzt, die unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der motorischen Fähigkeit Kraft bewirken.⁹ Die Trainingsmethoden werden durch eine Reihe von Faktoren bestimmt, u.a. durch Belastungsintensität, -dauer, -umfang und -dichte. Durch eine Variation dieser Faktoren können dementsprechend unterschiedliche messbare Adaptationen des Körpers erzielt werden.

Die Intensität der gewählten Trainingsmethoden wurde anhand von zwei verschiedenen Maximalkrafttests festgelegt. Neben der vor allem im (leistungs- und breiten-) sportlichem Bereich gebräuchlichen Maximalkraftbestimmung mittels des Einer-Wiederholungs-Maximums (EWM) wurde zudem das vor allem auch in der Rehabilitation angewandte Last-Wiederholungs-Verhältniss (LWV) eingesetzt.¹⁰ Da beide Methoden häufig im Kraftsportbereich angewendet werden, sollte in der vorliegenden Arbeit eine weitere Hypothese (Hypothese 2a) überprüft werden.

Hypothese 2a

Der je nach Trainingsmethode unterschiedlich hohe, in %Fmax festgelegte Trainingsparameter „Intensität“ lässt sich anhand der Maximalkrafttests Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM) und Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV) exakt bestimmen.

Begründung: Da der Erfolg der verschiedenen Trainingsmethoden zu einem entscheidenden Teil von der Belastungsintensität abhängt, ist es unumgänglich, dass die Lasthöhe möglichst exakt eingestellt werden kann. Ohne diese normierte Belastungsintensität verlieren die verschiedenen Trainingsmethoden einen wesentlichen Bestandteil ihrer Wirksamkeit und generieren ggf. völlig andere Trainingsergebnisse.

Neben der Analyse von MB und H-FABP wurde mit der RPE-Skala eine weitere Methode zur Belastungssteuerung eingesetzt, die nicht nur Vergleichswerte liefern,

⁹ Vgl. z.B. BÜHRLE (1985), LETZELTER/LETZELTER (1986), EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN (1987), MARTIN (1993), SCHMIDTBLEICHER (1994), ZATSIORSKY (1996), sowie Kap. 3.3.

¹⁰ Vgl. u.a. ZACIORSKIJ (1970); SCHOLICH (1982); LETZELTER/LETZELTER (1986), BRAITH et al. (1993), MARTIN (1993), SCHMIDTBLEICHER (1994), MORALES/SOBONYA (1996) und ZATSIORSKY (1996).

sondern auch darüber Aufschluss geben sollte, ob eine Kombination der unterschiedlichen Verfahren ggf. optimierte Trainingsbedingungen schaffen könnte.¹¹ In verschiedenen Untersuchungen und Studien wird die RPE-Skala als reliables und valides Instrument zur Belastungssteuerung beschrieben, wobei sich ein großer Teil der Untersuchungen auf Ausdauersportarten bezieht.¹² Daraus folgt die nächste Arbeitshypothese.

Hypothese 3

Die RPE-Skala ist ein geeignetes Instrument der subjektiven Belastungseinschätzung und der Belastungssteuerung im Krafttraining. Sie ist dabei unabhängig von den gewählten Trainingsmitteln und -methoden.

Begründung: Da sich der überwiegende Teil der Untersuchungen zur RPE-Skala auf Ausdauersportarten bezieht, galt es für die vorliegende Studie der Frage nachzugehen, inwieweit die RPE-Skala auch für ein Krafttraining mit unterschiedlichen Trainingsmethoden und –mitteln ein geeignetes Instrument der Belastungssteuerung ist.

Eine weitere wichtige Rolle für die Effektivität eines Trainings spielt zudem die Psyche des Trainierenden. Auch ist bekannt, dass aktives Betreiben von Sport Einfluss auf die psychische Gesundheit haben kann, wobei sich auch hier die meisten Untersuchungen zu diesem Thema mit Formen des Ausdauersports beschäftigen.¹³

Für den Kraftsport bzw. den Bereich der orthopädischen Rehabilitation liegen in Hinblick auf die Thematik von Sport und Psyche bislang nur wenige Untersuchungen vor, womit die Frage, ob und inwieweit Krafttraining Einfluss auf die psychische Gesundheit hat und inwiefern dies ggf. für eine optimale Trainingssteuerung von Bedeutung ist, noch weitestgehend offen ist. In Hinblick auf diese Fragen ergibt sich die Hypothese 4.

¹¹ Die RPE - Skala (Rating of Perceived Exertion) dient der Klassifikation von körperlichen Belastungen mit Hilfe einer persönlichen Anstrengungswahrnehmung und wurde erstmals 1970 von BORG entwickelt. Vgl. hierzu u.a. BORG (1970, 1982), TRUNZ/FREIWALD/KONRAD (1992), OBERSTE (1995) sowie Kap. 4.3.1.

¹² Vgl. u .a. SKINNER, J.S. et al. (1973), MORGAN/BORG (1976), ROBERTSON (1982), UEDA/KUROKAWA (1995), ROBERSTON et al. (1996), WALKER/LAMB/MARRIOTT (1996), MARRIOTT/LAMB (1996), ESTON/THOMPSON (1997), KANG et al. (1998), BUSKIES (1999), PINCIVERO/COELHO/ERIKSON (2000), BUCKLEY/ESTON/SIM (2000), ROBERTSON et al. (2000), und GROSLAMBERT et al. (2001).

¹³ Vgl.: u.a. MRAZEK (1986), ALFERMANN (1993), SCHLICHT (1994), PALMER et al. (1995), PARFITT/ESTON/CONNOLLY (1996), CORBIN/PANGRAZI (1996), ABELE/BREHM/PAHMEIER (1997), EMERY/BLUMENTHAL (1988), BARTHOLOMEW/LINDER (1998), TSUTSUMI et al. (1998), TREASURE/NEWBERRY (1998), PERRIG-CHIELLO (1998) und ARENT/LANDERS/ETNIER (2000).

Hypothese 4

Krafttraining beeinflusst die psychische Gesundheit. Die durch das Krafttraining hervorgerufenen Änderungen der psychischen Gesundheit wiederum beeinflussen das Krafttraining und damit auch die Trainingsergebnisse.

Begründung: Die psychische Gesundheit wird u. a. durch das Wohlbefinden, die Regulationskompetenz und das Selbstkonzept eines Individuums bestimmt.¹⁴ Diese Faktoren spielen vermutlich im (rehabilitativen) Krafttraining eine mehr oder weniger große Rolle. Somit besteht die berechtigte Annahme, dass Krafttraining Einfluss auf die psychische Gesundheit haben kann und die sich hierbei ergebenden Veränderungen wiederum auf die Trainingssteuerung einwirken.

Krafttraining kann nicht nur auf das physische Wohlbefinden, d. h. den von einer Person positiv wahrgenommenen körperlichen Zustand, sondern ebenso auf das psychische Wohlbefinden, d. h. das Erleben positiver Emotionen, die Abwesenheit negativer Emotionen und die allgemeine Lebenszufriedenheit einwirken. Eine mehr oder weniger wirksame Regulationskompetenz, d.h. im weitesten Sinne die Fähigkeit zur Stressbewältigung, kann ggf. den Heilungsprozess von Patienten in der Rehabilitation fördern oder hemmen. Das Selbstkonzept eines Individuums schließlich wird u. a. von seinem Körpergefühl, seiner Selbstwertschätzung sowie seiner Leistungsfähigkeit bestimmt, Faktoren, die zumindest teilweise durch Krafttraining gezielt beeinflusst werden können. In Hinblick auf diese Aspekte der psychischen Gesundheit wurde ein einfacher Fragebogen an die Probanden und Patienten verteilt und ausgewertet.

Die Zusammenführung der in der Pilotstudie und aus der Befragung gesammelten Erkenntnisse ermöglicht die Überprüfung der Frage, ob durch die Kombination der gewählten Steuerungs- und Diagnostikverfahren sowie durch die Einbeziehung psychischer und sozialer Komponenten das (rehabilitative) Krafttraining optimiert werden kann.

¹⁴ Vgl. u. a. SCHLICHT (1994, 74f) und FREY (1991, 133) sowie Kap. 5.1.

2 DER KRAFTBEGRIFF

Obwohl Kraft und Krafttraining in allen sportlichen Bereichen eine mehr oder weniger große Rolle spielen, gibt es dennoch bislang keine exakte, umfassende und allgemein anerkannte Definition des Kraftbegriffs.

Der Ausdruck "Kraft" im sportlichen Handlungsfeld stellt sich als eine Art Sammelbegriff für die unterschiedlichsten Erscheinungs- oder auch Sichtweisen von Kraft dar. Selbst in der Abgrenzung zu anderen konditionellen Fähigkeiten wie Ausdauer und Schnelligkeit treten Schwierigkeiten auf, da jede Bewegung durch ein gewisses Maß an Kraftfähigkeit mitbestimmt wird.¹⁵ Eine Abgrenzung ist hier nur über das Maß der eingesetzten Kraft möglich.¹⁶

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird das Wort "Kraft" von jedermann völlig selbstverständlich benutzt, ohne dass es erklärungsbedürftig erscheint. Die menschliche Vorstellung von Kraft beruht dabei primär auf subjektive Sinnesempfindungen. Der Einsatz von Muskelkraft ermöglicht eine visuell und/oder taktil spürbare Verformung oder Bewegung von Körpern, wobei die Höhe der eingesetzten Kraft wiederum subjektiv eingeschätzt wird. Kraft wird damit allgemein als ein Begriff benutzt, der als Ursache für eine beobachtbare Verformung oder Beschleunigung herangezogen wird, die durch den Menschen (Muskelkraft), die Natur (z. B. Wind- oder Wasserkraft) oder eine wie auch immer geartete Maschine hervorgerufen wird. Der Begriff "Kraft" scheint dadurch für jedermann einleuchtend und klar zu sein.

Versucht man jedoch, der Sache auf den Grund zu gehen und eine allgemeingültige exakte Definition für den Kraftbegriff im Sport zu erstellen, ergeben sich plötzlich Probleme verschiedenster Art.

Ein Grund hierfür sind u. a. die verschiedenen Betrachtungsweisen, mit denen in den Sportwissenschaften an den Kraftbegriff herangegangen wird. Kraft kann aus physikalisch-mathematischer, biomechanischer, trainingswissenschaftlicher, medizinisch-neurologischer und/oder psychologischer Sicht definiert werden.

So stellt sich z. B. in der Physik gar nicht erst die Frage nach einer anderen als der rein mechanischen Definition der Kraft, in der Psychologie dagegen spielen die biologischen oder auch die physikalischen Faktoren allenfalls eine untergeordnete Rolle. Daher sollte im Vorfeld jeder sich mit Kraft und Kraftfähigkeiten beschäftigenden Arbeit die Frage nach der Anwendung des Kraftbegriffs stehen.

¹⁵ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1993, 38).

¹⁶ Vgl. MARTIN (1993, 102).

Auf den Sport und die Trainingswissenschaft bezogen, ist diese Frage nicht einfach zu klären, berührt hier das Arbeiten mit dem Kraftbegriff doch in jeweils unterschiedlich starkem Ausmaß fast alle Betrachtungsweisen. Sei es aufgrund der biologischen Adaptationen, der Motivation oder der physikalischen/biomechanischen Gesetze, jeder der oben beschriebenen Faktoren hat einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die Kraft, d. h. auf ihr Erscheinungsbild, ihre Ausprägung oder ihre Größe. Hinzu kommt eine z. T. wechselnde Verknüpfung der verschiedenen Ansätze, so z. B. die physikalische Messung einer durch biologische Adaptationen zustande gekommenen Kraftzunahme nach einem speziellen Training oder die (physikalische) Messung einer rein motivational hervorgerufenen Kraftzunahme. Auf der anderen Seite ermöglicht es die moderne Technik z. B. auch, die neurologischen Prozesse mittels elektromyographischer Stimulation partiell zu umgehen, so dass nur noch ein Teil der Physiologie zum Tragen kommt.

Für die jeder menschlichen Bewegung innewohnenden Kraft kann augenscheinlich keine der möglichen Betrachtungsweisen für sich genommen eine allgemeingültige Definition liefern. Die Problematik liegt also darin, die verschiedenen Betrachtungsweisen zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Zur Klärung der Frage, warum dies bislang noch nicht erschöpfend gelungen ist, erscheint es sinnvoll, zunächst einmal die verschiedenen Ansätze genauer zu betrachten.

Physikalisch-mathematisch wird die Kraft als das Produkt aus Masse mal Beschleunigung definiert, wobei die Kraft eine vektorielle Größe darstellt, die durch Betrag, Richtung und Lage der Wirkungslinie bestimmt wird.

Auf einen Körper einwirkende Kräfte äußern sich entweder in Form einer Beschleunigung oder einer Verformung des Körpers; bei der Einwirkung auf einen drehbaren Körper wird ein Drehmoment erzeugt. Aufgrund dieser physikalischen Gegebenheiten können alle auftretenden Kräfte apparativ nur indirekt durch die Beobachtung der Formänderung bzw. der Beschleunigung gemessen werden, d. h. eine Apparatur misst nie die "Kraft per se", sondern lediglich ihre jeweilige Wirkung auf einen Körper.

Die möglichst korrekte Übertragung dieser physikalischen Gesetze auf das biologische System "Mensch" ist Gegenstand der Biomechanik. Demnach gelten die Gesetze der Mechanik im Prinzip für alle - leblosen wie lebendigen - Körper, also auch für den Menschen. Sie beschreiben in mathematischer Form die Bewegungen, die ein Körper ausführt sowie die Kräfte, die diese Bewegungen hervorrufen.¹⁷

¹⁷ Vgl. WILLIMCZIK (1989, 58).

Hierbei gilt Kraft als die Ursache, die eine Bewegung bewirkt, wobei sie jedoch wiederum nur über ihre Auswirkungen auf den betroffenen Körper bestimmt werden kann, sei es die Verformung oder die Beschleunigung. Letztlich ist die physikalische Kraftäußerung in biologischen Systemen an die Muskelleistung gebunden, wobei die eine Bewegung erzeugenden Kräfte durch das Zusammenspiel verschiedenster Muskeln hervorgerufen werden. Diese können im seltensten Fall detailliert aufgeschlüsselt werden. Somit ist die Biomechanik gezwungen, mit vereinfachenden Modellen zu operieren, ähnlich dem physikalisch-mathematischen Ansatz des Kraftbegriffs. Da beide Ansätze die biologischen Unwägbarkeiten mehr oder weniger stark ausschließen, kann ihre Definition für die Kraft nicht allgemeingültig sein.¹⁸

Im Gegensatz hierzu stellt die medizinisch/neurologische Betrachtungsweise das biologische System in den Vordergrund. Aber auch hier scheint eine eindeutige Formulierung nur schwer möglich zu sein. Ursache für eine nach außen sichtbare Kraft sind die Muskelfasern, die als zelluläre Elemente der Muskeln einzig und allein der Kraftentfaltung dienen.¹⁹ Aufgrund einer Kontraktion dieser Muskelfasern nähern sich Ursprung und Ansatz der Muskeln reversibel an, wodurch der passive Bewegungsapparat gesteuert und Kraft nach außen projiziert wird. Eine Kontraktion wiederum entsteht aus der Summe aller afferenten und efferenten Informationen, die zu einer Vielzahl motorischer Vorderhornzellen zusammenfließen. Ohne das Zusammenspiel von Reizaufnahme und -abgabe ist keine Kontraktion und damit auch keine Kraftentwicklung möglich. Im Umkehrschluss würde das bedeuten, dass Kraft als rein neurologisch bedingt definiert werden könnte. Jedoch spielen noch eine Reihe anderer biologischer Faktoren für die nach außen wirksam werdende Kraftentfaltung eine Rolle. So hängt die Kraftentwicklung u. a. vom größtenteils genetisch determinierten Fasertypbesatz der Muskeln sowie vom Faserquerschnitt und der Muskellänge ab. Da eine Bewegung nie von einem Muskel allein gesteuert wird, spielt zudem das System der Muskelschlingen und Gliederketten eine Rolle. Auch das - mehr oder weniger perfekte - koordinative Zusammenspiel der verschiedenen Muskeln bestimmt den jeweiligen Krafteinsatz. Weiterhin kommt der genetisch festgelegten anatomischen Morphologie des Individuums insofern eine Bedeutung zu, als die Entfernung der Muskelansatzpunkte vom Gelenkmittelpunkt Einfluss auf die wirksame Umsetzung der Muskelspannung hat (ein Punkt, an dem wiederum unmittelbar die physikalischen/biomechanischen Gesetze einbezogen

¹⁸ Vgl. WILLIMCZIK (1989, 97): "Bei der *biomechanischen* Analyse kann daher trotz der strengen Gültigkeit mechanischer Gesetze stets dann eine eindeutige Aussage für das Individuum nicht erwartet werden, wenn biologische Faktoren im Spiel sind und auch berücksichtigt werden."

¹⁹ Vgl. BILLETTER/HOPPELER (1994, 51).

werden müssen).²⁰ Nicht zuletzt sollte auch der biochemische Enzym- und Substratbesatz der verschiedenen Muskelfasern und -zellen bedacht werden, hat er doch u. a. Einfluss auf die Kontraktionsgeschwindigkeit und damit die Spannungsentfaltung. Eine Veränderung in der biochemischen Zusammensetzung der einzelnen Muskelzellen oder auch in ihrer Zellstruktur bzw. Zellmembranstruktur (aufgrund von Adaptation, vorangegangener Beanspruchung o. ä.) führt dementsprechend ebenfalls zu einer variablen (d. h. besseren oder auch schlechteren) Kraftentfaltung.²¹

Ebenfalls dem physiologischen Themenkreis zugehörig sind des Weiteren die intern wirksamen Kräfte wie z. B. die Kräfte der Bänder und Sehnen sowie innere Reibungskräfte etc. Diesen gegenüber stehen die externen (physikalischen aber auch physischen) Kräfte wie z. B. die Schwerkraft, äußere Reibungswiderstände oder die Kraft des sportlichen Gegners.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die im Sport auftretenden, durch verschiedene physiologisch-neurologische Prozesse zustande gekommenen Kräfte zumeist auf der Grundlage physikalischer (mechanischer) Methoden gemessen werden. Es ist demnach zu bedenken, dass "die beim Menschen meßbaren physikalischen Kraftgrößen als Resultat der motorischen [biologischen] Fähigkeit zur Kraftentfaltung in Erscheinung treten."²² Beide Faktoren hängen also eng zusammen und sind im Grunde nicht von-einander losgelöst zu betrachten.

Ein Schnittpunkt zwischen physiologischer und psychologischer Sichtweise ist der Einfluss von hemmenden Impulsen auf die Kraftentwicklung. So kann unter Hypnose oder extremen Angst-/Notsituationen ein wesentlich höheres Kraftpotential aktiviert werden als unter normalen Bedingungen. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich bei unterschiedlicher Motivationslage.²³ Motivation und Leistungsbereitschaft spielen demnach eine große Rolle bei der Kraftbildung, was sich u. a. auch in Begriffen wie 'mentale Stärke' oder 'psychische Kraft' widerspiegelt. Vor allem in Wettkampfsituationen wird deutlich, wie eng physische und psychische Stärke voneinander abhängen. Gerade in Sportarten bzw. Wettkämpfen, in denen ein relativ ausgewogenes körperliches Kräfteverhältnis herrscht, behält zumeist derjenige die

²⁰ Vgl. WITTEKOPF/MARHOLD/PIEPER (1981, 228f). Die nach außen wirksam werdenden Muskelkräfte sind demnach auch abhängig von der Anordnung der Muskeln im Bewegungsapparat (d. h. vom Ansatzpunkt am Knochen bzw. vom Abstand zur Gelenkachse) sowie ihrer mechanischen Anordnung (z. B. Fiederungen).

²¹ Siehe hierzu u. a. STOBOY (1986); TESCH (1987) und GOLDSPINK (1992).

²² Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1987, 357).

²³ RÖCKER/STOBOY (1970) konnten eine Steigerung der Kraft unter Motivationsbedingungen um bis zu 65 % feststellen.

Oberhand, der aufgrund seiner psychischen Kraft seine physischen Stärken besser koordinieren und ausspielen kann.

Auch in der orthopädischen Rehabilitation kann die Psyche Einfluss auf den Genesungsprozess nehmen, indem sich z. B. die zumeist unbewussten, teilweise aber auch bewussten Ängste vor einer erneuten Verletzung hemmend auf die Kraftentfaltung (und damit auf einen möglichen muskelaufbauenden Trainingseffekt) auswirken.

Physiologisch mehr oder weniger ungeklärt ist z. B. auch die Frage, ob und inwieweit das Ausstoßen von Schreien bei besonderen sportlichen Anspannungen oder Kraftleistungen (z. B. beim Gewichtheben, Diskus-/Speerwerfen aber auch beim Tennis) Einfluss auf die maximale Kraftentfaltung hat.²⁴ Es stellt sich die Frage, ob sich im Moment des Schreiens durch die dabei auftretende spontane Spannungsentladung eventuell zusätzliche Kraftreserven mobilisieren lassen.

Letztendlich sollte die Trainingswissenschaft als eine Disziplin, die sich u. a. mit den Auswirkungen von Kraft in der sportlichen Bewegung sowie mit seinen trainingsbedingten Adaptationen befasst, in der Lage sein, den Kraftbegriff eindeutig zu definieren. Jedoch trifft man auch hier auf eine Vielzahl zumeist einseitiger bzw. unvollständiger Definitionen.²⁵ Von den meisten Autoren wird Kraft anhand unterschiedlicher Kriterien untergliedert, wobei die Mehrzahl der Autoren einen biologischen (motorischen) und einen physikalischen Kraftbegriff unterscheidet. In weiteren Schritten wird von den meisten Autoren die Kraft weiter systematisiert, indem sie anhand der Arbeitsweise (statisch - dynamisch), der Erscheinungsform (Maximalkraft, Schnellkraft etc.) oder der beanspruchten Muskelgruppe/-region (allgemeine bzw. spezielle Kraft) kategorisiert wird.²⁶

Den meisten Definitionen ist dabei gemein, dass sie sich i. d. R. auf die motorische *Kraftfähigkeit*, nicht den Kraftbegriff an sich beziehen.²⁷

Ein Beispiel für eine "klassische" trainingswissenschaftliche Definition geben LETZELTER/LETZELTER. Nach ihnen ist Kraft die Fähigkeit, "eine Masse (den eigenen Körper, den Gegner, ein Gerät), also einen Widerstand zu überwinden oder ihm durch Muskelarbeit entgegenzuwirken".²⁸ Diese Definition umfasst zwar alle

²⁴ Vgl. z. B. MARKWORTH (1993, 59) und HOLLMANN (1990, 191).

²⁵ So sind z. B. bei WEDEKIND (1985) achtzehn verschiedene Definitionen zur motorischen Fähigkeit "Kraft" zu finden.

²⁶ Eine Übersicht zur Definition und Systematisierung des Kraftbegriffes geben u. a. BÖS/MECHLING (1983, 122ff).

²⁷ Vgl. u. a. RÖTHIG (1983) und MARTIN (1993, 100). Nach HOLLMANN (1990, 176) ist eine naturwissenschaftliche Formulierung der Kraft als Muskeleigenschaft nur über den Weg ihrer Messbarkeit möglich.

²⁸ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1993, 39).

Formen der in der Trainingswissenschaft üblichen Unterscheidungen der Kraftausprägung mittels der jeweiligen Arbeitsweise der Muskulatur (statisch oder konzentrisch bzw. exzentrisch dynamisch), geht jedoch auf die Ursachen der Kraftentwicklung und -übertragung nicht näher ein. Es ist demnach nicht der Kraftbegriff an sich, der hier definiert wird, sondern vielmehr die Erscheinungsweise der Kraft, also die *Kraftfähigkeit*.

In der Trainingswissenschaft hat sich eine Untergliederung der Kraftfähigkeit in die Kategorien Schnellkraft, Maximalkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer durchgesetzt, wobei die Maximalkraft in jeder dieser Kategorien ein mehr oder weniger wichtige Rolle spielt.²⁹ Untermuert wird diese Kategorisierung u. a. durch die Hill'sche Kurve, in der die Verkürzungsgeschwindigkeit eines Muskels gegen eine zu bewältigende Kraft aufgetragen ist. Die Tatsache, dass die Kurve sich beiden Achsen nur asymptotisch nähert, diese jedoch nicht schneidet, lässt erkennen, dass jede Bewegung sowohl ein gewisses Maß an Kraft als auch an Schnelligkeit beinhaltet.

An diesem Punkt könnte man nun zu der physikalische Betrachtungsweise zurückkehren, die impliziert, dass jede Bewegung im Prinzip auf einem Impuls basiert. D. h. jeder Körper erfährt bei einer Bewegung in Abhängigkeit von der Höhe der Kraft sowie der Dauer bzw. der Schnelligkeit der Krafteinwirkung einen Impuls p (mit: $p = m \cdot v$ [kgms⁻¹]). Bei konstanter Kraft F ergibt sich mit $m \cdot \Delta v = F \cdot t$ die erzielte Impulsänderung, die auch Kraftstoß genannt wird und in Ns angegeben wird.

Ist die Krafteinwirkung nicht konstant, bildet der Kraftstoß das Zeitintegral der Kraft, d. h. er entspricht der Fläche unterhalb einer aufgetragenen Kraft-Zeit-Kurve. Die Größe dieser Fläche ist abhängig von der Maximalkraft sowie vom Anstieg der Kurve, der über das Vermögen bestimmt wird, möglichst schnell hohe Kräfte entwickeln zu können.³⁰

Auf dieser Basis definiert SCHMIDTBLEICHER die Schnellkraft als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, "einen möglichst großen Impuls in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren."³¹ Auf die allgemeine motorische Kraftfähigkeit übertragen würde dies bedeuten, dass eine Bewegung und der dafür nötige Kraftaufwand über die Größe des vermittelten Impulses zu definieren ist.³² Die vermittelten

²⁹ Vgl. MARTIN (1993, 102). Nach LETZELTER/LETZELTER (1993, 65) ist diese Unterscheidung insofern nötig, als es "die Kraft" an sich nicht gibt.

³⁰ Vgl. u. a. KUCHLING (1971, 78f), BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981, 19ff) und BÜHRLE (1985, 102f).

³¹ SCHMIDTBLEICHER (1987, 358). Festzuhalten ist, dass die Schnellkraft damit auch von der Maximalkraft abhängig ist. Jedoch verliert je nach Höhe der zu bewegendes Last aufgrund unterschiedlicher Mechanismen die isometrische Maximalkraft an Bedeutung (vgl. auch BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER, 1981, 21ff).

³² Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1987, 357).

Impulse wiederum sind abhängig von der neuromuskulären Ansteuerung der jeweiligen (biologisch determinierten) Muskelfasern, wobei die neuromuskulären Prozesse in Abhängigkeit von der Höhe sowie der Geschwindigkeit der zu realisierenden Kraftanstrengung jeweils unterschiedlich geartet sind. Diese Definition hat zwar den Vorzug, physikalische und physiologische Gegebenheiten sehr eng zusammenzuführen, ist jedoch letztlich auch wiederum eine Beschreibung der *Kraftfähigkeit*.

Bleibt man bei der motorischen Kraftfähigkeit, so ermöglicht die Heraushebung der konditionellen Basis eine Weiterführung des Kraftbegriffs dahingehend, dass die bei einer Bewegung aufgewendete Kraft auch anhand der Muskelarbeit und/oder -leistung beurteilt werden kann. Dies wiederum weist auf eine Verknüpfung zwischen physiologisch-neurologischen Faktoren (wie der Umsetzung von biochemischer Energie unter Sauerstoffverbrauch in Kraft und Wärme) und physikalischen Parametern (mit: $\text{Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$ bzw. $\text{Leistung} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg} \cdot \text{Zeit}$). So ist bei jedem Kraftaufwand neben der Schnelligkeit auch ein gewisses Maß an Ausdauer vonnöten, d. h. Kraft in "Reinform" existiert bei einer menschlichen Bewegung nicht. Diese Unterscheidung in Kraftausdauer, Schnellkraft etc. ist auch trainingsmethodisch bedeutsam, da zur Verbesserung der verschiedenen motorischen Kraftfähigkeiten zumeist unterschiedliche Trainingsverfahren eingesetzt werden. Diese Trainingsmethoden wiederum haben Adaptationen im neuromuskulären System zur Folge, so dass diese Gliederung demnach in erster Linie biologisch angelegt ist.

Die verschiedenen Trainingsmethoden zielen also in erster Linie auf Adaptationen des biologischen Systems ab. Erst an zweiter Stelle kommen psychologische (z. B. Förderung der Motivation bzw. der Leistungsbereitschaft) und physikalische bzw. biomechanische Faktoren (z. B. Veränderungen der sportlichen Technik durch Optimierung der Arbeitswinkel der Muskulatur, Entwicklung geeigneterer Sportgeräte u.ä.) zum Tragen.

Anhand der Fülle der verschiedenen bislang aufgeführten Faktoren wird klar, welche Probleme die Erstellung einer umfassenden Definition von "Kraft" aufwirft, die allen Betrachtungsweisen gerecht werden will. Festzuhalten ist, dass die meisten Disziplinen einen ihren Anforderungen angepassten Ansatz haben, vereinfachende Modelle gebrauchen oder den Kraftbegriff in zwei verschiedene Komponenten trennen bzw. mit dem Begriff der Kraftfähigkeit als Ausdruck der Kraft in einer sportlichen Bewegung operieren.

Dies führt zu der Frage, ob der Begriff "Kraft" im Zusammenhang mit Sport und sportlicher Bewegung überhaupt sinnvoll eingesetzt werden kann und darf., bzw. ob im Endeffekt nicht doch nur stets von einer *Fähigkeit* des Menschen die Rede ist.

Einer Fähigkeit, die es ihm durch das Zusammenspiel all der Faktoren, die für diese *Kraftfähigkeit* im unterschiedlich hohem Maße verantwortlich sind, ermöglicht, Kraft nach außen hin sichtbar und steuerbar wirksam werden zu lassen.

Versucht man dementsprechend nun eine Definition für den *Kraftfähigkeitsbegriff*, stellt sich auch hier weitergehend die Frage, inwieweit und in welchem Umfang alle aufgeführten Faktoren in eine verständliche, der jeweiligen Anwendung gerecht werdende Definition zu integrieren sind.

Für die vorliegende Arbeit könnte eine mögliche Definition in Anlehnung an LETZELTER/LETZELTER wie folgt aussehen:³³

Die Kraftfähigkeit eines Menschen äußert sich in der durch neurologisch-biochemische Prozesse entstehenden Muskelspannung, mittels der das denkende und fühlende Individuum auf der Grundlage (bio)mechanischer Gesetze willentlich eine Masse (den eigenen Körper, ein Gerät), also einen Widerstand überwinden bzw. ihm entgegenwirken kann.

Auch diese Definition kann und will keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. So ist z. B. der Einfluss motivationaler Faktoren mit dem Begriff "willentlich" nur ungenügend beschrieben und auch der Begriff des "denkenden und fühlenden Individuums" drückt das psycho-physische Ausgangsniveau der jeweiligen Person bestenfalls annähernd aus.

Fest steht, dass für das Verständnis der Kraftfähigkeit und seiner Erscheinungsformen, bzw. für das Arbeiten mit dem Kraftbegriff die Grundlagen der entscheidenden Einflussgrößen bekannt sein müssen. Da eine Definition diese Grundlagen nicht schaffen, sondern nur möglichst prägnante Schlagwörter benennen kann, wird in den folgenden Kapiteln kurz auf die entscheidenden Grundlagen der Physiologie und der Biomechanik sowie die verschiedenen Kraftfähigkeiten und ihre physiologischen Adaptationsmöglichkeiten eingegangen.

³³ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1993, 39).

3 KRAFT UND KRAFTTRAINING

Ohne ein Minimum an Kraft und Ausdauer kann ein Mensch seinen alltäglichen Aufgaben nicht nachgehen, ja im Extremfall ist er sogar nicht mehr in der Lage, seinen Körper aufrecht zu halten. Im Laufe der letzten Jahre hat das Krafttraining eine zunehmend zentralere Rolle im Bereich der allgemein- und Breitensportlichen Handlung eingenommen, sei es als Bodybuilding, Fitnessstraining oder im Bereich der Prävention und Rehabilitation.

In der Trainingslehre wird die Kraft den *konditionellen Fähigkeiten* zugerechnet, wobei Kondition als eine Komponente des Leistungszustandes definiert ist, die primär auf einem Zusammenspiel der energetischen Einflussgrößen eines Organismus und der Muskulatur basiert.³⁴ Kondition tritt demnach ebenso im Bereich der Schnelligkeit, der Ausdauer sowie der Beweglichkeit auf. Ohne diese Fähigkeiten wäre keine motorische Handlung möglich, d. h. sie sind unabdingbare Voraussetzung für das Funktionieren des menschlichen Körpers. Die konditionellen Fähigkeiten unterliegen einer steten Entwicklung, die in Zusammenhang mit den Reizen steht, denen ein Organismus (sei es durch alltägliche Reize oder spezielle Trainingsanforderungen) ausgesetzt ist. Die nachfolgenden Kapitel sollen einen kurzen Überblick über die wichtigsten Grundlagen zum Verständnis von Kraft, Kraftfähigkeiten sowie Krafttraining geben.

3.1 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

3.1.1 Physiologie

Die Fähigkeit zur Motilität ist eines der Kennzeichen von Lebewesen. Ausgehend von einfachen Bewegungsformen mittels Geißeln und Wimpern bei Einzellern, haben sich im Laufe der Evolution immer bessere Formen und Mittel zur Fortbewegung bis hin zum spezialisierten Muskelsystem des Menschen entwickelt. Eine aktive, willkürliche oder auch unwillkürliche Bewegung wird durch den komplizierten Mechanismus der Umwandlung von chemischer in mechanische Energie möglich, wobei die Steuerung über Milliarden von Nervenzellen im Gehirn und Rückenmark erfolgt. Neben der Muskulatur spielt der passive Bewegungsapparat als Ansatzpunkt für die Muskeln und Sehnen eine wichtige Rolle. Grundlage für all diese Prozesse ist die Zelle, wobei höchst komplizierte intra- und interzelluläre Mechanismen und das gute Funktionieren des gesamten Organismus eine optimale Leistung gewährleisten.

³⁴ Vgl. MARTIN (1993, 87f).

Letztendlich baut sich eine gute motorische Leistungsfähigkeit beim Menschen auf den folgenden drei Hauptpfeilern auf:³⁵

- den neuro-muskulären Funktionen (Muskulatur und Zentralnervensystem);
- den (intramuskulären) Prozessen zur Energieversorgung;
- dem An- und Abtransport von Substraten (Herz-Kreislauf-System, Leber etc.).

Nachfolgend sollen kurz die grundlegenden physiologischen Voraussetzungen der Kraftfähigkeit dargestellt werden. Für detailliertere Erläuterungen sei auf die Fachliteratur verwiesen.³⁶

Muskelkontraktionen

Im Gegensatz zu Eigenreflexen sind alle willkürlichen Kontraktionen der Skelettmuskulatur tetanischer Natur, d. h. es kommt zu einer vollständigen Verschmelzung von Einzelzuckungen, wobei die dabei entwickelte Spannung z. T. vier- bis fünfmal so hoch sein kann wie bei einer Einzelzuckung.

Die bei einer tetanischen Kontraktion entstehende Kraft ist u. a. abhängig:

- vom Muskelfasertyp (und seinem Querschnitt);
- von der Anzahl der rekrutierten Muskelfasern;
- vom Metabolismus der Muskelfasern (Substrat und Enzymbesatz);
- vom Alter, Geschlecht u. ä.

Die Anzahl der rekrutierten Muskelfasern richtet sich nach der jeweiligen Bewegungsaufgabe bzw. dem hierfür notwendigem Kraftaufwand. Bewegungen mit geringem Kraftaufwand erfordern auch nur eine geringe Anzahl rekrutierter Muskelfasern. Mit steigender Kraftanforderung werden zunehmend mehr Fasern einbezogen, wobei jedoch nie alle Muskelfasern eines Muskels gleichzeitig aktiviert sind. Die nervale Ansteuerung aller an einer Bewegung beteiligten Muskeln ist dabei überaus kompliziert und erfordert eine hohe inter- und intramuskuläre Koordination.

Eine maximale Kraftentfaltung wird durch ein optimales Zusammenspiel der verschiedenen, an einer Bewegung mitwirkenden Muskeln (Agonisten, Synergisten und Antagonisten) sowie der Stimulierung einer möglichst großen Anzahl rekrutierter motorischer Einheiten mittels einer maximalen Endladungsfrequenz erreicht.

Je nach Anforderung werden die verschiedenen Muskelfasern i. d. R. in jeweils der gleichen Reihenfolge rekrutiert, ein Tatbestand, der u. a. für das Training der ver-

³⁵ Vgl. HOLLMANN (2000).

³⁶ Siehe z. B. HOLLMANN (1986), de MAREES (1991), THEWS (1991), MARKWORTH (1993), BADTKE (1995), HOLLMANN (2000).

schiedenen Kraftfähigkeiten von Bedeutung ist³⁷. So werden zu Beginn die ST-Fasern geschaltet, während die FT-Fasern erst mit zunehmender Belastungsanforderung einbezogen werden (Größenordnungsprinzip nach HENNEMANN).³⁸ Von diesem Prinzip gibt es nur wenige Ausnahmen.³⁹

Bei der Ausführung einer Bewegung sind stets verschiedene Muskeln aktiv. Dieses Zusammenspiel der Muskulatur in Form von sogenannten Muskelschlingen erfordert eine gute intermuskuläre Koordination, die nervös gesteuert wird. Durch Verletzungen kann dieses System gestört sein, so dass es durch gezieltes Training wiederhergestellt werden muss. Dieser Punkt erfährt in der medizinischen Trainingstherapie besondere Berücksichtigung, bedeutet es doch, dass die Patienten nach Verletzungen am aktiven oder passiven Bewegungsapparat bzw. nach Operationen nach einem Trainingsplan trainieren sollten, der u. a. diesen Umständen Rechnung zu tragen hat.⁴⁰

Sensomotorik

Für jede Alltagsbewegung ist somit ein enges Zusammenspiel der motorischen Systeme notwendig, wobei zwei wesentliche Funktionen zu unterscheiden sind, nämlich die Haltefunktion und die Bewegungsfunktion. Die Haltefunktion (Stützmotorik) ermöglicht die Überwindung der Schwerkraft und damit die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts des Körpers. Die Bewegungsfunktion (Zielmotorik) hingegen erlaubt den Menschen, zielgerichtete, sichtbare Bewegungen auszuführen. Dieses nervöse Zusammenspiel des Muskel-, Binde- und Stützapparats wird über motorische Funktionssysteme gesteuert, die auf verschiedene Abschnitte des zentralen Nervensystems verteilt sind. Dabei werden zwei Hauptebenen unterschieden, nämlich die Supraspinale Ebene und die Spinale Ebene.⁴¹

³⁷ Siehe Kap. 3.3.

³⁸ Dabei werden z. B. bei einer Willkürkontraktion mit 50% der Maximalkraft bereits 80% der benötigten motorischen Einheiten geschaltet, die restlichen 50% des Kraftaufwands werden von den restlichen 20% der (größeren und stärkeren) Einheiten realisiert. Die größten und schnellsten Einheiten werden i.d.R. erst bei mehr als 90% der Maximalkraft aktiviert (vgl. GÜLLICH/SCHMIDT-BLEICHER (1999, 227).

³⁹ Vgl. NOTH (1994, 38f) und SALE (1994, 257).

⁴⁰ Vgl. hierzu u. a. EINSINGBACH (1992) sowie SCHMIDTBLEICHER (1994).

⁴¹ *Spinale Ebene*: Diese Ebene umfasst das Rückenmark, über das u. a. folgende Aktivitäten ablaufen: einfache Reflexe, Regulierung der Muskelspannung, Kontrolle der Muskellänge, Adaptationen zur Bewegungsangleichung aufgrund von Informationen aus der Peripherie (z. B. von Muskel- oder Gelenkrezeptoren) sowie Bahnungsvorgänge für Bewegungsautomatismen. *Supraspinale Ebene*: Hierunter fallen alle Anteile, die oberhalb des Rückenmarks liegen, d. h. also die verschiedenen Areale des Gehirns. In dieser Ebene erfolgt vorwiegend die Steuerung der Stützmotorik (⇒ Stabilisierung der Haltung sowie die Aktivierung und Koordinierung des Muskeltonus). Zudem entstehen im Gehirn Handlungsantriebe (Motivation) sowie

Für eine gezielte Bewegungsausführung ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den sensorischen und motorischen Systemen notwendig. So sind z. B. die zum kinästhetischen Sinnessystem gehörigen Propriozeptoren (wie z. B. Muskel- und Sehnen-spindeln, Gelenkrezeptoren sowie vestibuläre Rezeptoren) für die Empfindung der Lage im Raum sowie für die Zustandsmeldung des aktuellen Dehnungs- bzw. Kontraktionszustandes der Muskulatur zuständig. Zudem sind sie an der Regulation der Spinalmotorik beteiligt. Eine weitere wichtige Aufgabe der verschiedenen Gelenk- und Bandrezeptoren (zu denen auch Mechano- und Nozizeptoren gehören) ist der Schutz der Gelenke. Bei Gelenkschädigungen (nach Traumata, Operationen, oder auch nur Entzündungen) werden durch eine konvergente Bahnung verschiedener Afferenzen sehr früh nozizeptorische Reize ausgelöst, die eine weitere Verletzung verhindern sollen und gleichzeitig die maximale Kraftentwicklung reduzieren.⁴²

3.1.2 Biomechanik

Ein Teilgebiet der Mechanik ist die *Dynamik*, die sich ihrerseits in *Statik* und *Kinetik* untergliedert. Während sich die *Statik* mit Körpern im Zustand der Ruhe oder des Gleichgewichts beschäftigt, erfasst die *Kinetik* die Zusammenhänge zwischen den Kräften und sich in Bewegung befindlichen Körpern. Maßgeblich sind hier u. a. die Newtonschen Gesetze. In der Biomechanik wird versucht, die mechanischen Gesetzmäßigkeiten auf das biologische System zu übertragen, wobei zwischen statischer und dynamischer Kraft unterschieden wird. Entsprechend der Höhe der jeweils einwirkenden Gegenkräfte wird ein kontrahierender Muskel sich entweder verkürzen, seine Ausgangslänge behalten oder länger. Der Zusammenhang zwischen den einwirkenden Kräften und den Kontraktionsformen stellt sich dar wie folgt:

- Bei statischer Krafteinwirkung bleibt die Muskellänge konstant: *isometrische Kontraktion*.
- Bei positiv-dynamischer Krafteinwirkung verkürzt sich die Muskulatur: *konzentrische Kontraktion*.
- Bei negativ-dynamischer Krafteinwirkung wird die Muskulatur gedehnt: *exzentrische Kontraktion*.

Bei den meisten Alltagsbewegungen handelt es sich um eine Kombination der verschiedenen Kontraktionsformen, wohingegen im Krafttraining häufig gezielt mittels der verschiedenen Kontraktionen gearbeitet wird.

Bewegungsentwürfe, und Bewegungsprogramme werden gespeichert. Eine weitere wichtige Funktion ist die Koordination der Stütz- und Zielmotorik.

⁴² Vgl. FREIWALD/STARISCHKA/ENGELHARDT (1993, 370).

3.2 KRAFT ALS MOTORISCHE EIGENSCHAFT - KRAFTFÄHIGKEITEN

Menschliche Bewegungen erfordern in unterschiedlichem Maße Kraft bzw. Kraftfähigkeiten. Um die jeweiligen Krafteinsätze differenzieren zu können, ist eine Untergliederung und genauere Definition notwendig. So erklärt MARTIN Kraftfähigkeit als „die konditionelle Basis für Muskelleistungen mit Krafteinsätzen, deren Werte über ca. 30% der jeweils individuell realisierbaren Maxima liegen.“⁴³

Unter diesem Aspekt erscheint eine Unterteilung der Kraft in *Maximalkraft*, *Schnellkraft* und *Kraftausdauer* sinnvoll, wobei Schnellkraft und Kraftausdauer in gewissem Maße von dem allgemein vorhandenem Kraftpotential (also der Maximalkraft) abhängen. Im Folgenden soll nur auf die für die vorliegende Arbeit wesentlichen Unterpunkte Maximalkraft und Kraftausdauer eingegangen werden.

3.2.1 Maximalkraft

Nach BÜHRLE et al. kann das Maximalkraftverhalten mittels der Komponenten *Maximalkraft*, *Absolutkraft*, *willkürliche Aktivierungsfähigkeit* beschrieben werden.⁴⁴

Als *Maximalkraft* gilt derjenige Kraftwert, der bei maximal möglicher willkürlicher Kontraktion erreicht wird. Abschätzungen erfolgen mittels isometrischer Kraftmessungen. Die *Absolutkraft* eines Menschen bildet eine nicht willkürlich aktivierbare autonome Reserve oberhalb der sog. *Mobilisationsschwelle*, die z. B. unter Stresssituationen ausgeschöpft werden kann. Sie ist abhängig von der Muskelzusammensetzung und dem Muskelquerschnitt, d. h. von dem Gesamtpotential des kontraktiven Systems. Gemessen werden kann die Absolutkraft z. B. bei maximaler elektrischer Stimulation. Die Höhe dieser Mobilisationsschwelle wird durch die *willkürliche Aktivierungsfähigkeit* (d. h. durch das Zusammenspiel zwischen Rekrutierung und Frequenzierung der beteiligten motorischen Einheiten) gesteuert. Je näher die bei einer willkürlichen Kontraktion entwickelte Kraft der Absolutkraft ist, umso weiter verschiebt sich die Grenze hin zur autonomen Reserve. Die Aktivierungsfähigkeit ist in hohem Maße trainierbar, was daran zu erkennen ist, dass Untrainierte nur ca. 70%, Kraftsporttrainierte hingegen bis zu 95% ihrer Absolutkraft aktivieren können.⁴⁵

Neben dieser Untergliederung erscheint es auch möglich, die Maximalkraft mittels der jeweils vorherrschenden Kontraktionsform (also in dynamisch konzentrische, isometrische oder dynamisch exzentrische Maximalkraft) weiter zu differenzieren, da die jeweils beobachtbaren Maximalkraftwerte stark voneinander abweichen. So liegen die ermittelten konzentrischen Kraftwerte um 10 bis 15% niedriger als die iso-

⁴³ Vgl. MARTIN (1993, 102).

⁴⁴ Vgl. BÜHRLE / SCHMIDTBLEICHER / RESSEL (1983).

⁴⁵ Vgl. BÜHRLE / SCHMIDTBLEICHER (1981).

metrischen und diese wiederum sind - je nach Trainingszustand - zwischen 5 und 40% unterhalb der exzentrischen Maximalkraftwerte angesiedelt. Da jedoch alle Kontraktionsformen zum einen von den bereits angesprochenen Faktoren Muskelmasse, Muskelfaserzusammensetzung und willkürlicher Aktivierungsfähigkeit abhängen und zum anderen jede Kontraktion einen isometrischen *und* einen konzentrischen Anteil beinhaltet, hält SCHMIDTBLEICHER eine diesbezügliche Untergliederung dimensionsanalytisch für unzulässig.⁴⁶ Nach MARTIN kann Maximalkraft dementsprechend als "die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskelsystem bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag" definiert werden.⁴⁷

3.2.2 Kraftausdauer

Kraftausdauer ist entweder bei Haltekontraktionen (z. B. Ski-Abfahrtshocke) oder bei wiederholten Krafteinsätzen gegen Lasten gefordert. Um eine Abgrenzung zur reinen Ausdauer zu schaffen, sollte nur dann von Kraftausdauer als Kraftfähigkeit gesprochen werden, wenn die eingesetzte Kraft größer ist als etwa ein Drittel des individuellen maximalen Kraftvermögens.⁴⁸ Im Prinzip spielen zwei Merkmale eine Rolle, nämlich die Höhe sowie die Dauer der Lastbewältigung, wobei im ersten Fall die Maximalkraft, im zweiten die Stoffwechsellistung der Muskulatur leistungsbestimmend ist. Auf diese Merkmale bezieht sich u. a. auch die Definition von LETZELTER/LETZELTER, wonach Kraftausdauer die Fähigkeit ist, "Kraftleistungen über einen durch die sportliche Tätigkeit bestimmten Zeitraum aufrecht- bzw. den ermüdungsbedingten Abfall im Kraftniveau gering halten zu können."⁴⁹

Nach GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER ist Kraftausdauer „die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst hohe Impulssumme (Kraftstoßsumme) in einer gegebenen Zeit gegen höheren Lasten zu produzieren.“⁵⁰

Je länger eine Belastung andauert, um so stärker wirken sich die verschiedenen Faktoren des muskulären Stoffwechsels aus. So erfolgt die Energiebereitstellung bei sehr intensiven Kurzzeitbelastungen vorwiegend auf anaerober Basis, bei längeren Dauer-

⁴⁶ Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1987). Der Zusammenhang zwischen konzentrischer und isometrischer Maximalkraft liegt bei $r > 0,85$ bis $> 0,90$; der Zusammenhang zwischen exzentrischen und isometrischen Leistungen liegt ebenfalls bei $r > 0,85$, so dass auch die exzentrische Maximalkraft nicht als eine eigenständige Fähigkeit angesehen werden kann (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER; 1999, 224f).

⁴⁷ Vgl. MARTIN (1993, 103).

⁴⁸ Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1987,362).

⁴⁹ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1986,120).

⁵⁰ Vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999,226). Die Kraftausdauer setzt sich damit aus zwei Komponenten zusammen: a) Größe der Einzelkraftstöße und b) Fähigkeit, die Reduktion der Kraftstöße so gering wie möglich zu halten

belastungen dagegen zunehmend aerob. Neben der enzymatischen muskulären Kapazität wird die Kraftausdauer stark durch die muskuläre Kapillarisation beeinflusst, da über das Blut sowohl der nötige Sauerstoff sowie energiereiche Substrate angeliefert als auch Stoffwechselabfallprodukte abgeführt werden. Eine ausreichende Blutversorgung der arbeitenden Muskulatur wiederum hängt von dem durch Muskelspannung erzeugten Muskelinnendruck ab. Bereits ab einem Einsatz von ca. 15% der Maximalkraft erfolgt eine zunehmende Komprimierung der Kapillaren, die bei einer statischen Kraftanstrengung von ca. 50% F_{max} zu einer vollständigen Unterbrechung der Blutversorgung führen kann, d. h. der Muskel kann nur noch über die anaerobe Energiebereitstellung eine gewisse Zeit weiterarbeiten.⁵¹ Bei dynamischen Kraftanstrengungen hingegen sorgt der kontinuierliche Wechsel zwischen An- und Entspannung für eine ausreichende Durchblutung.

3.3 METHODEN UND ZIELE IM KRAFTTRAINING

Systematisches Training orientiert sich stets an bestimmte Ziele, die erreicht werden sollen. Ist ein vorrangiges Trainingsziel bekannt, werden je nach Trainingsgestaltung mittels möglichst optimal gesetzter Belastungsreize spezifische physiologische Anpassungserscheinungen angesteuert.

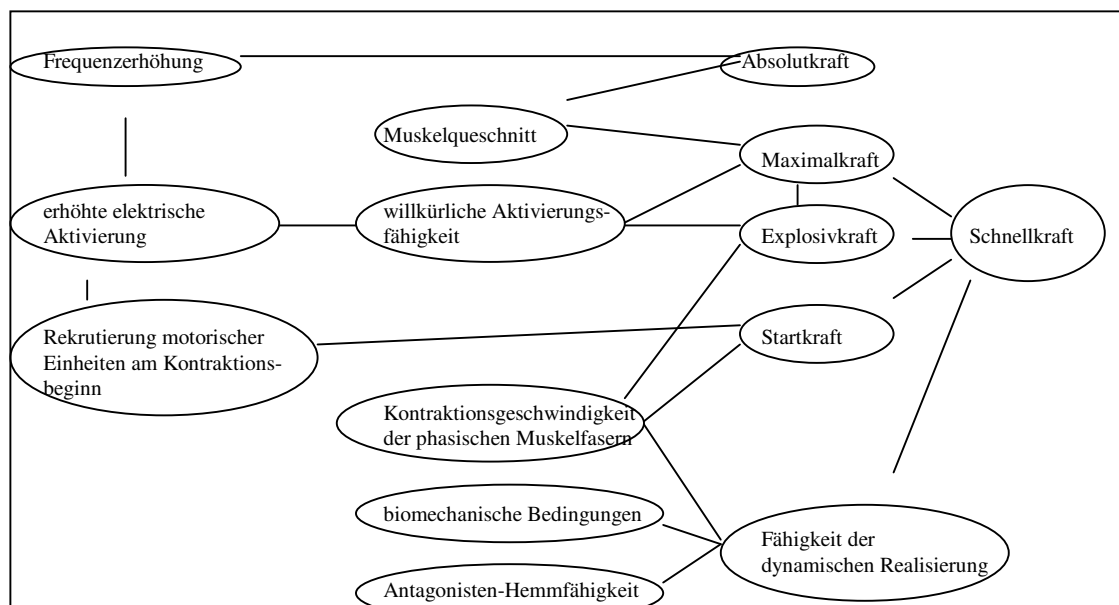


Abb. 3.1: Zusammenhang der Ziele und Methoden im allgemeinen Krafttraining (aus: MARTIN, 1993, 126).

In Anlehnung an dieses Schaubild kann demnach je nach Trainingsziel mit den entsprechenden Trainingsmethoden eine gewünschte Adaptation der Muskulatur erreicht werden. Für die Beschreibung der Trainingsmethoden im Krafttrainingsbereich sind

⁵¹ Vgl. HOLLMANN (2000)

dabei nicht nur die Belastungsgrößen, sondern auch die jeweilige Kontraktionsform (d. h. isometrisch, konzentrisch, exzentrisch oder auch zusammengesetzte Mischformen) der Muskeln von Bedeutung.

Die nachfolgenden Kapitel geben einen Überblick über Ziele, Methoden und angestrebte Adaptationen für die in der Studie eingesetzten Krafttrainingsformen.

3.3.1 Maximalkrafttraining

In der Literatur finden sich zwei verschiedene Ansätze für einen optimalen Trainingsreiz zur Maximalkraftsteigerung. Auf der einen Seite steht die "Reiz-Spannungstheorie", nach der maximale Muskelspannungen nötig sind, um optimale Kraftzuwachsrate zu ermöglichen.⁵² Demgegenüber geht die "ATP-Mangel-Theorie" davon aus, dass bis zur Erschöpfung ausgeführte, submaximale Krafteinsätze den höchsten Kraftzuwachs bewirken.⁵³ Beide Ansätze sind durch eine Vielzahl empirischer Untersuchungen abgesichert, wobei die Frage nach den Ursachen für die Kraftzunahme nicht abschließend geklärt ist.⁵⁴

Fest steht, dass die Maximalkraft sowohl durch Veränderungen im muskulären System (in Bezug auf Muskelquerschnitt, -durchblutung etc. => *Hypertrophie*) als auch im neuronalen System (bezüglich Rekrutierung, Synchronisation etc. => *intra- und intermuskuläre Koordination*) gesteigert werden kann. Diesen Adaptationen liegen unterschiedliche Trainingsmethoden zugrunde, die im Folgenden näher erläutert werden sollen.

Jede Trainingsform wird dabei durch die Belastungskomponenten Intensität, Umfang und Dichte sowie die Bewegungsgeschwindigkeit und die Kontraktionsform (isometrisch, konzentrisch, exzentrisch etc.) bestimmt. Während Umfang und Dichte durch die Wiederholungszahlen, Serien und Pausenzeiten relativ einfach festzulegen sind, wird für die Komponente Intensität ein Bezugspunkt benötigt. Dieser wird i. d. R. durch das in den verschiedenen Übungen jeweils maximal erreichbare konzentrische

⁵² Vgl. HETTINGER (1964).

⁵³ Vgl. MEERSON (1973).

⁵⁴ Da beide Theorien empirisch abgesichert sind, stellt sich die Frage, wie die konkurrierenden Trainingsansätze zu einem mehr oder weniger gleichen Trainingserfolg führen können. Entweder reagiert die Muskulatur ab einem gewissen (submaximalen) Spannungszustand mit einer identischen Adaptation oder dem Kraftzuwachs liegen unterschiedliche physiologische Anpassungserscheinungen zugrunde. Als gesichert gilt die Erkenntnis, dass eine Muskelhypertrophie mittels submaximaler Krafteinsätze angeregt wird. Ebenso deuten einige Untersuchungen darauf hin, dass durch hohe Spannungen initiierte Mikrotraumen einen Reiz zur Muskelquerschnittsvergrößerung beinhalten. Nicht endgültig geklärt ist jedoch, ob nicht der primäre Anteil des Kraftgewinns auf neurophysiologische und neuronale Adaptationen zurückzuführen ist (vgl. SCHMIDTBLEICHER, 1984 und 1994).

Lastmaximum (in kg) bestimmt, welches mit 100% Belastungsintensität (F_{max}) gleichgesetzt wird.⁵⁵

Hypertrophietraining

Als wesentlicher Reiz zur Muskelhypertrophie gilt eine totale Ausschöpfung der muskulären Energiedepots (eingelagerte Phosphate) durch ein Training mit submaximalen Lasten. Des Weiteren kann ein Muskelwachstum auch durch Mikrotraumen hervorgerufen werden, die aufgrund hoher Muskelspannungen entstehen.⁵⁶

Diese Ansätze machen deutlich, dass relativ hohe Muskelspannungen über einen längeren Zeitraum andauern müssen, um eine Hypertrophie auszulösen. Hierbei gibt es verschiedene Methoden und Ansätze, die vor allem in der Intensitätsangabe des notwendigen Belastungsreizes voneinander abweichen; die Angaben schwanken dabei zwischen 30 und 80 % des isometrischen Maximums.⁵⁷ Hauptanforderung an ein Training mit submaximalen Lasten ist jedoch in jedem Fall, die Last bis zum Abbruch mit der maximal möglichen Wiederholungszahl zu bewältigen. Erst bei den letzten Wiederholungen wird eine maximale Anzahl motorischer Einheiten (mE) einbezogen, was die Wirksamkeit der Methode ausmacht.⁵⁸

⁵⁵ Vgl. MARTIN (1993,127); nähere Erläuterungen und Ausführungen zur Bestimmung von F_{max} siehe Kap. 3.5.

⁵⁶ Durch die Mikrotraumen werden an den Muskelfasern befindliche "Reservezellen" (sog. Satellitenzellen) aktiviert, sie proliferieren durch mitotische Teilung und verschmelzen an der geschädigten Stelle zu einem vielkernigen Muskelschlauch. Dadurch wird eine verletzte Muskelfaser durch eine neue ersetzt, wobei diese Regenerationsmaßnahme die Gesamtfaseranzahl nicht verändert (vgl. hierzu auch SCHMIDTBLEICHER/HEMMLING (1994) und MacDOUGALL (1994)). GOLDSPINK (1994) beschreibt die Muskelhypertrophie mit einer Steigerung der Myofibrillen durch Längsspaltung, wodurch sich der Myofibrillenquerschnitt und damit auch das Kraftpotential insgesamt erhöht. Durch verschiedene Trainingsmaßnahmen kann es zudem zu einer selektiven Hypertrophie der verschiedenen Muskelfasertypen (FT-/ST-Fasern) kommen. Demnach begünstigt ein Schnellkrafttraining mit hohen Widerständen eine Hypertrophie der FT-Fasern, während statisches oder langsam ausgeführtes dynamisches Training eher eine Zunahme der ST-Fasern hervorruft (vgl. HOLLMANN, 2000). Zudem sei hier noch kurz erwähnt, dass eine Muskelhypertrophie auch Veränderungen im versorgendem Nervensystem sowie im Knochen- und Knorpelsystem mit sich bringt (HOLLMANN, 2000).

⁵⁷ Eine kurze Übersicht hierzu findet sich bei PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989, 5).

⁵⁸ Vgl. ZATSIORSKY (1996). In Übereinstimmung mit dem Größenordnungsprinzip nach HENNE-MANN werden bei der Methode der submaximalen Krafteinsätze nach und nach die verschiedenen mE rekrutiert, wobei i.d.R. die zuerst rekrutierten, langsamen mE nicht erschöpfen. Da also nur die später zusätzlich zu den langsamen mE rekrutierten, schnell zuckenden mE ermüden (und damit dem Trainingsreiz unterliegen), ist es unabdingbar, wirklich bis zur völligen Erschöpfung zu arbeiten. Sehr anschaulich wird dieses Prinzip von ZATSIORSKY (1996, 125ff) beschrieben.

In Anlehnung an BÜHRLE können folgende Methoden für ein Hypertrophietraining angewendet werden:

	Wiederholungs- methode 1	Wiederholungs- methode 2	Extensive Intervalle
Kontraktions- form	konzentrisch und/oder exzentrisch	konzentrisch und/oder exzentrisch	konzentrisch und/oder exzentrisch
Geschwindigkeit	langsam	langsam	zügig
Intensität (%)	40 - 70 %	30 - 40 %	25-40%
Wiederholungen	20	30	> 30
Serien	3 bis 5	4 bis 6	3 bis 6
Wdh.-Pausen	keine	keine	kurz
Serien-Pausen	< 2 min.	< 1 min.	kurz

Tab. 3.1: Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen zur Verbesserung des Muskelquerschnitts (in Anlehnung an BÜHRLE, 1985, 96).

Training zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur

Neben einer Muskelhypertrophie kann eine Kraftzunahme auch durch die Optimierung der intramuskulären Koordination erreicht werden. Die grundlegenden Punkte für eine Verbesserung dieser sogenannten willkürlichen Aktivierungsfähigkeit sind die Rekrutierung bislang nicht aktivierter motorischer Einheiten sowie eine Steigerung in der Verarbeitung von hohen Innervationsfrequenzen.⁵⁹ Durch ein Training mit sehr hohen Lasten, geringen Wiederholungszahlen und großen Erholungspausen kann die Fähigkeit zur schnellen Mobilisation großer Innervationsaktivitäten gesteigert werden, ohne dass die Muskelmasse dabei zunimmt.⁶⁰ Neben der hohen Intensität spielt außerdem die Bewegungsgeschwindigkeit eine große Rolle. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über mögliche Trainingsmethoden:

⁵⁹ Während eine untrainierte Person nur ca. 60% seiner motorischen Einheiten synchron aktivieren kann, bewirkt ein entsprechendes intramuskuläres Koordinationstraining eine Steigerung um bis zu 20% (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN, 1987).

⁶⁰ Einen Überblick über die verschiedenen Ansätze und Forschungsergebnisse in Bezug auf die Aktivierungsfähigkeit gibt u. a. BÜHRLE (1985, 97ff). Auch ZATSIORSKY (1996, 123f) beschreibt die Methode der maximalen Krafteinsätze zur Entwicklung der inter- und intra-

	Maximale Kontraktionen	Submaximale Kontraktionen	Max. exzentr. Kontraktionen	Max. isometr. Kontraktionen	Prinzip d. Muskelleistungsschwelle
Kontraktionsform	Konzentr.	Konzentr.	Exzentr.	Isometr.	Konzentr.
Geschwindigkeit	zügig	opt. schnell	langsam		opt. schnell
Krafteinsatz	explosiv	explosiv	explosiv	explosiv	explosiv
Lastgröße	100 %	90-95-100%	140 - 180 %	100 %	55 - 60 %
Wiederholungen	1 - 2	4 - 3 - 1-2	3	2	6 - 8
Serien	5	2 - 2 - 2	5	5	3 - 5
Belastungsdauer				2 - 3 sec.	
Pausen	3-5 min.	3 min.	3 min.	3 min.	> 3 min.

Tab. 3.2: Methoden zur Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit (in Anlehnung an BÜHRLE (1985, 98) und MARTIN (1993, 130)).

Durch eine spezielle Trainingsform können die beiden Maximalkraftmethoden auch miteinander verknüpft werden. Dieses kombinierte Training wird in Form einer stumpfen oder spitzen Pyramide durchgeführt, wobei die jeweiligen Reizintensitäten bei entsprechender Reizdauer angesprochen werden.⁶¹

3.3.2 Kraftausdauertraining

Vorrangiges Ziel des Kraftausdauertrainings ist eine Verbesserung der Energiebereitstellung im Muskel, so dass eine bestimmte Kraftleistung über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht erhalten werden kann. Neben einer Zunahme der langsamen Muskelfasern und einer verbesserten enzymatischen Ausstattung der Muskelfasern (durch Vergrößerung und Vermehrung der Mitochondrien) kann auch die neuronale Ermüdungsresistenz gesteigert werden.⁶²

Die unterschiedlichen Erscheinungsweisen der Kraftausdauer sowie die in der Literatur zu findenden, z. T. recht weit streuenden Trainingsvorgaben machen deutlich, dass es keine optimale Belastungskombination für das Kraftausdauertraining geben kann.⁶³ Allgemein kommt der Belastungsdauer im Training eine übergeordnete Be-

muskulären Koordination, weist aber gleichzeitig darauf hin, dass sie verschiedene Einschränkungen mit sich bringt und für Anfänger wenig empfehlenswert ist.

⁶¹ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1986, 228f) und BÜHRLE (1985, 96).

⁶² Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1994, 171).

⁶³ Vgl. u. a. MARTIN (1993, 132), LETZELTER (1978, 148) und EINSINGBACH (1992, 49).

deutung zu, die Belastungsintensität wird niedriger gewählt.⁶⁴ Die angewendeten Methoden ähneln im Prinzip den bereits beschriebenen Methoden des Maximalkrafttrainings, wobei die Wiederholungszahlen im Verhältnis zur Last hoch sind. So werden die Belastungsintensitäten mit ca. 25 bis 40 % F_{max} und die Wiederholungszahlen mit 20 bis >30 Wiederholungen und 3 bis 6 Serien angesetzt. Die Pausenzeiten sollten etwa 30 bis 60 sec. betragen, das Bewegungstempo ist zügig.

Insgesamt sollte die Belastung so gewählt werden, dass es zu einer möglichst vollständigen Ausschöpfung der Energiespeicher in der arbeitenden Muskulatur kommt. Neben der Wiederholungsmethode bzw. der extensiven Intervallmethode kann die Kraftausdauer auch sehr gut in Form eines Kreis-, Stations- oder Circuittrainings gesteigert werden.⁶⁵

⁶⁴ Vgl. MARTIN (1993, 132).

⁶⁵ Vgl. LETZELTER (1978, 158ff) und ZATSIORSKY (1996, 245).

4 BELASTUNGSSTEUERUNG IM KRAFTTRAINING

Wie in Kapitel 3 dargelegt, steht und fällt eine gewünschte Adaptation im Krafttraining mit einer möglichst optimalen Reizwirkung, die sich in Abhängigkeit mehrerer aufeinander abgestimmter Belastungsparameter jeweils unterschiedlich auf den Organismus auswirkt. Dementsprechend kann nur ein entsprechend gutes Zusammenwirken aller Belastungsparameter die gewünschten Adaptationen hervorrufen, bzw. bereits das Abweichen einer Belastungsgröße verändert ggf. den Trainingseffekt.

Aus diesem Grund beschäftigt sich sowohl die Trainingswissenschaft als auch die Sportmedizin mit der Erprobung und Anwendung verschiedenster Methoden, die eine derartige gezielte Reizsetzung diagnostizieren bzw. steuern sollen.

4.1 SPORTWISSENSCHAFTLICHE METHODEN

In der Trainingswissenschaft steht zumeist die Maximalkraftbestimmung als Bezugsgröße für eine normierte Belastungsintensität im Vordergrund. Darauf aufbauend werden die weiteren Belastungsnormativa (wie Umfang, Dichte, Kontraktionsart etc.) festgelegt⁶⁶ Die Bestimmung der Maximalkraft wird dabei sowohl als Steuergröße für ein optimales Training als auch als Hinweis auf einen Trainingserfolg herangezogen.⁶⁷

Zur Kraftbestimmung gibt es eine Vielzahl verschiedener Verfahren, die vor allem in der sportmedizinischen Literatur in subjektive, semiobjektive und objektive Methoden untergliedert werden.⁶⁸ Bei den subjektiven Verfahren handelt es sich um optische Beurteilungen des menschlichen Körpers oder um manuelle Testverfahren (z. B. nach JANDER). Als objektive Methoden werden Umfangsmessungen der Gliedmaßen oder Querschnittsmessungen einzelner Muskeln (z. B. mit Ultraschall oder Computertomographie) sowie die Elektromyographie (EMG) angesehen.⁶⁹

⁶⁶ Eine andere Methode hingegen verwendet zur Leistungsbestimmung im Krafttraining nicht das Maximalkraftniveau, sondern die sog. Muskelleistungsschwelle (MLS). Als Indikator für die Muskelleistung dient dabei der Impuls der beschleunigten Masse, wobei das Gewicht, mit dem der größte Impuls erzielt wird, als Schwellengewicht bezeichnet wird und die Muskulatur an der MLS mit einem relativen Maximum der Energieübertragung arbeitet (vgl. PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN, 1989, 5ff).

⁶⁷ Dies gilt vorrangig für ein Krafttraining mit der Zielsetzung einer Muskelkraftzunahme. Bei den Kraftausdauer-, Schnell- und Reaktivkraftfähigkeiten sind zudem noch andere Faktoren wirksam, die in speziellen Tests diagnostiziert werden können. Hierauf soll jedoch in dieser Arbeit nicht eingegangen werden, für weitere Informationen sei auf die Fachliteratur verwiesen (z. B. BÖS/MECHLING, 1983).

⁶⁸ Vgl. u.a. HOLLMANN (1990, 195ff).

⁶⁹ Vgl. IKAI/FUKUNAGA (1968; in: HOLLMANN 1990), SCHMIDTBLEICHER (1981) sowie LAURIG (1992).

Alle übrigen Messmethoden sind nach HOLLMANN lediglich semiobjektiv, da selbst bei einer exakten apparativen Kraftmessenrichtung der unkontrollierbare Wille und die Motivation des Probanden das ablesbare Messergebnis beeinflussen.⁷⁰ Diese Einschränkung gilt für alle nachfolgend beschriebenen Messverfahren.

4.1.1 Apparative Messverfahren

Eine vor allem in der Biomechanik geläufige Kraftdiagnostik stützt sich auf die Registrierung von Kraft-Zeit-Kurven mittels elektronischer Kraftmessplatten bzw. Kraft- und Beschleunigungsaufnehmer, wobei je nach Versuchsaufbau sowohl die dynamischen exzentrischen und/oder konzentrischen Maximalkraftwerte als auch das isometrische Kraftmaximum ermittelt werden können.⁷¹ Die Daten geben Auskunft über die Höhe der willkürlich aktivierbaren Kraft der getesteten Muskelgruppe, wobei berücksichtigt werden muss, dass die Werte im entscheidenden Maße von der jeweiligen Ausgangsposition (bei dynamischer Messung) bzw. vom Arbeitswinkel (bei isometrischer Messung) abhängig sind. Dementsprechend müssen Maximalkrafttests dieser Art streng standardisiert sein, um intra- und interindividuelle Vergleiche zu ermöglichen.

Die ermittelten Maximalkraftwerte für die verschiedenen Kontraktionsarten unterscheiden sich um 5 bis 40%. Dieses gilt vor allem für die exzentrische Kraftmessung gegenüber der isometrischen Maximalkraft, wohingegen der Zusammenhang zwischen isometrischer und konzentrischer Maximalkraft mit zunehmendem Trainingszustand immer enger wird. Nach SCHMIDTBLEICHER liegt der Korrelationskoeffizient zwischen isometrischer und konzentrischer Maximalkraft bei untrainierten Personen bei $r = 0,85$, bei Trainierten sogar bei $r = 0,90$ bis $0,95$.⁷²

Nach MASSALGIN/USCHAKOW wird der Differenzbetrag zwischen isometrischer und exzentrischer Maximalkraft als *Kraftdefizit* bezeichnet.⁷³ Dieses Defizit kann bei untrainierten Personen je nach Muskelgruppe zwischen 10 und 40% betragen und wird von BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER mit einer Addition der passiven Elastizitätskräfte zu der Willkürkontraktion sowie mit der über die Muskelspindeln erfolgende Erhöhung der elektrischen Innervationsenergie bei der Muskeldehnung erklärt. Nach ihren Untersuchungen kann das Kraftdefizit durch ein geeignetes Training erheblich reduziert werden.⁷⁴

⁷⁰ HOLLMANN (2000).

⁷¹ Detailliertere Erläuterungen und Beispiele für die verschiedenen Kraftmessungen geben u. a. MARTIN (1993, 120ff) und WILLIMCZIK (1989, 47ff).

⁷² Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1987, 357).

⁷³ Vgl. MASSALGIN/USCHAKOV (1979, 364).

⁷⁴ Vgl. BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981, 16f).

4.1.2 Das Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM)

Das *Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM)* entspricht einer Last, die gerade noch einmal mit maximalem Kraftaufwand und im vollem Bewegungsumfang bewältigt werden kann. Es wird über die Versuch-und-Irrtum-Methode ermittelt und auch als *1-Repetitionmaximum (1-RM)* bezeichnet. In Untersuchungen von BRAITH et al. erreichten die Probanden das 1-RM nach drei bis fünf Versuchen.⁷⁵

Das EWM ist individuell unterschiedlich hoch und verändert sich im Laufe eines Trainingszyklus, d. h. das jeweilige Leistungsvermögen sollte in regelmäßigen Abständen anhand einer wiederholten Bestimmung des EWM neu festgelegt werden. In der Trainingspraxis wird das EWM meist zur Festlegung der jeweiligen Belastungsintensitäten herangezogen, indem es als Bezugspunkt mit 100% Fmax gleichgesetzt wird.⁷⁶

4.1.3 Das Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV)

Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung der Maximalkraft (Fmax) stellt die Abschätzung anhand submaximaler Lasten dar. Dieses Verfahren basiert auf dem Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV), d. h. dem Verhältnis zwischen einer relativen Last und den dabei maximal zu bewältigenden vollständigen Wiederholungen. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass es eine enge und definierbare Beziehung zwischen der Lasthöhe und den jeweils möglichen Wiederholungszahlen gibt, was bedeutet, dass jede Wiederholungszahl einer definierten Prozentangabe von Fmax zugeordnet werden kann.⁷⁷

Widersprüchliche Literaturangaben und Forschungsergebnisse zum LWV lassen jedoch daran zweifeln, ob die Maximalkraftabschätzung über ein LWV wirklich objektive Werte liefern kann, die der Maximalkraft annähernd gleich kommen. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, ist die Anwendung des LWV zur Maximalkraftabschätzung bzw. Belastungssteuerung mit einigen Schwierigkeiten behaftet.

⁷⁵ Vgl. BRAITH et al. (1993, 133).

⁷⁶ Vgl. MARTIN (1993, 127).

⁷⁷ Vgl. u.a. ZACIORSKIJ (1971), SCHOLICH (1982) und SCHMIDTBLEICHER (1994).

Untersuchungen zum LWV

Erste Untersuchungen zum LWV führte ZACIORSKIJ (1971) mit über 180 Sportstudenten mit Bankdrücken als Testbewegung durch. Er fand dabei eine Abhängigkeit zwischen Last und Anzahl der Wiederholungen, die sich wie folgt darstellt:

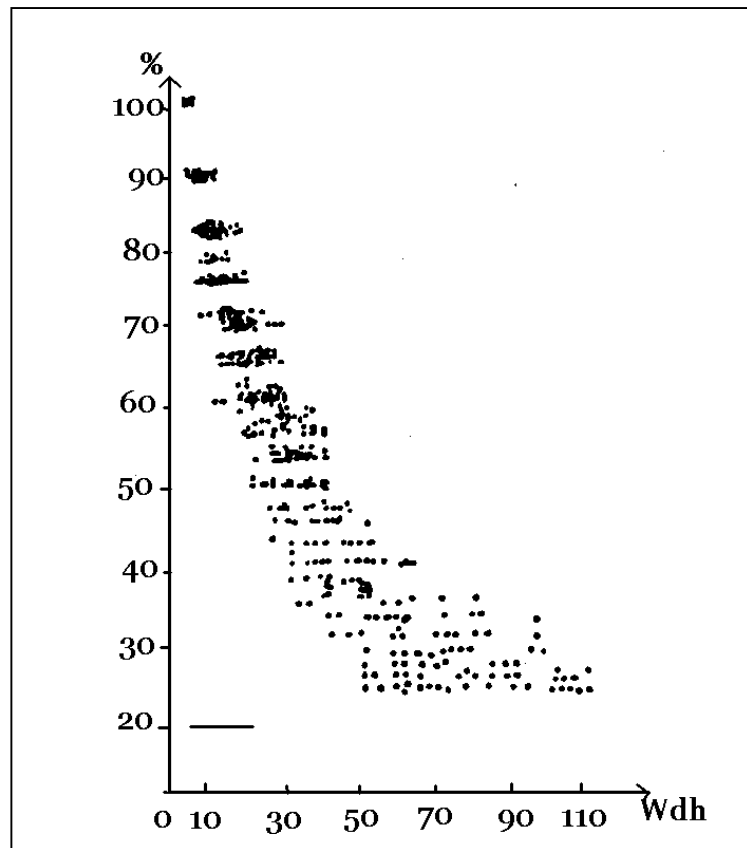


Abb.4.1: Parametrische Abhängigkeit zwischen Last und Anzahl der Wiederholungen. Abszisse: Anzahl der Wiederholungen; Ordinate: Gehobenes Gewicht in % des individuellen Maximums (aus: ZACIORSKIJ/KULIK/SMIRNOV, 1970).

Eine in Anlehnung an ZACIORSKIJ schematisierte Darstellung dieses Sachverhaltes findet sich bei LETZELTER/LETZELTER.⁷⁸ Wie aus der Abb. 4.2 jedoch deutlich ersichtlich ist, sind die Abweichungen vom Mittelwert vor allem bei mittleren bis höheren Wiederholungszahlen recht hoch. So schwankt z. B. die Angabe der prozentualen F_{max} bei 50 Wiederholungen zwischen Werten von ca. 20 bis 35% F_{max} . Auch bei 50% F_{max} ergibt sich mit Wiederholungszahlen zwischen ca. 15

⁷⁸ Vgl. LETZELTER/LETZELTER (1986, 242).

und 35 noch eine große Schwankungsbreite. Dies macht deutlich, dass das LWV individuell recht unterschiedlich ausfallen kann.

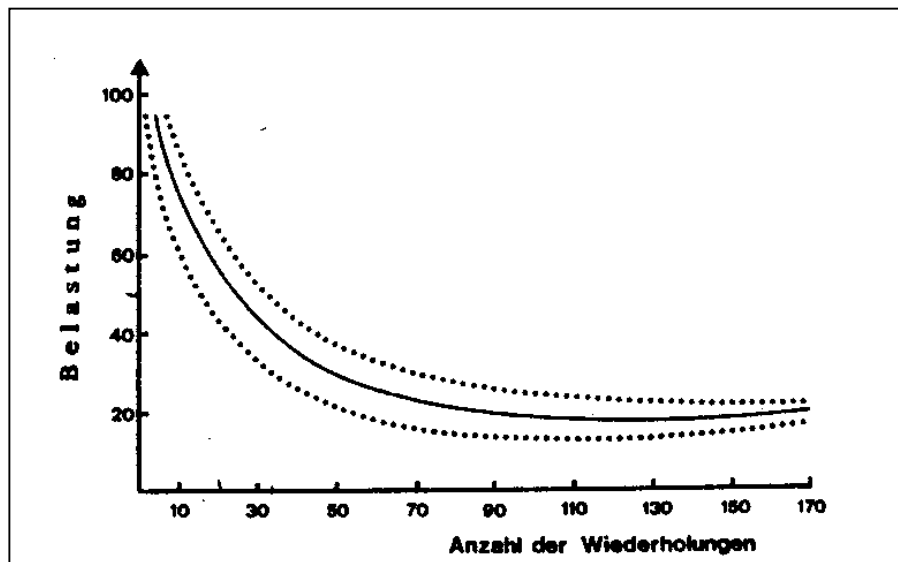


Abb.4.2: Anzahl der Wiederholungen im Verhältnis zur bewegten Last (aus: LETZELTER/LETZELTER, 1993, 242)

Ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Last und den möglichen Wiederholungen sieht SCHOLICH, wobei er zu einem von ZACIORSKIJ recht weit abweichendem LWV kommt, ohne jedoch zu erläutern, auf Grund welcher Daten er dieses LWV aufstellt. So können nach seiner Darstellung mit 50% Fmax nur ca. 15 Wiederholungen absolviert werden (vgl.4.3).

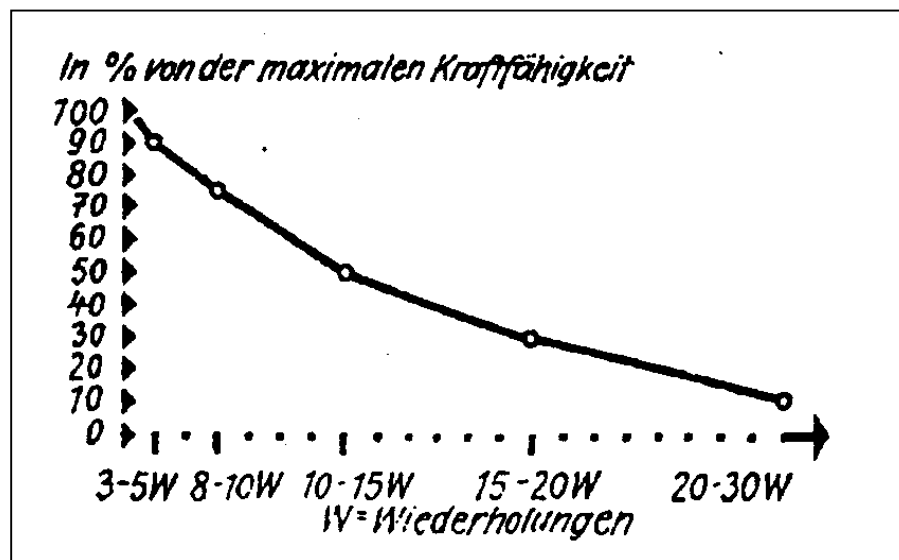


Abb.4.3: LWV nach SCHOLICH (1982, 12).

In GUSTAVSEN/STREECK findet sich eine Kurve nach HOLTEN, bei der das LWV in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit dargestellt ist. Hier sind

bei 60% Fmax 30 Wiederholungen möglich, unterhalb dieses Wertes werden keine Angaben mehr gemacht.⁷⁹

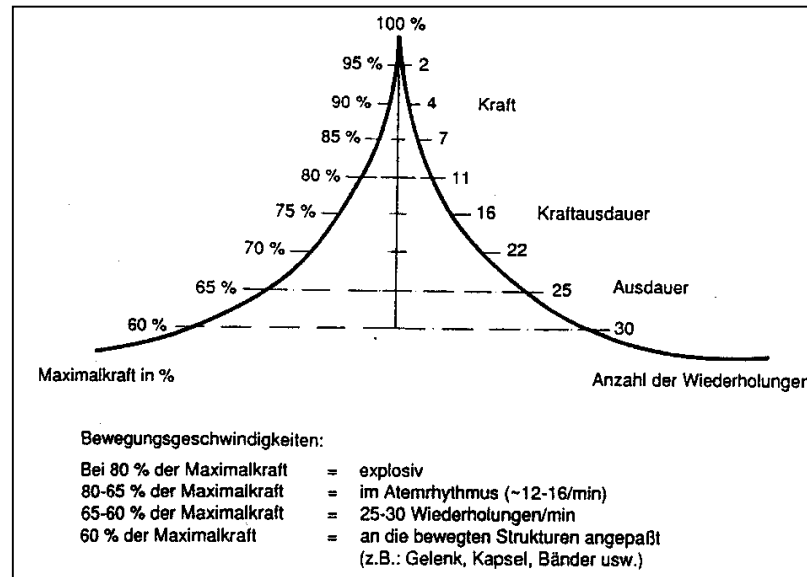


Abb.4.4: Beziehung zwischen prozentualer Maximalkraft und höchstmöglicher Wiederholungsanzahl bei vorgegebenen Bewegungsgeschwindigkeiten nach HOLTEN (aus: GUSTAVSEN/STREECK, 1991, 48).

Nach dem von SCHMIDTBLEICHER aufgestellten LWV wiederum sind bei 50% Fmax mindestens 40, bei 60% Fmax 20 Wiederholungen möglich (vgl. Abb. 4.5).

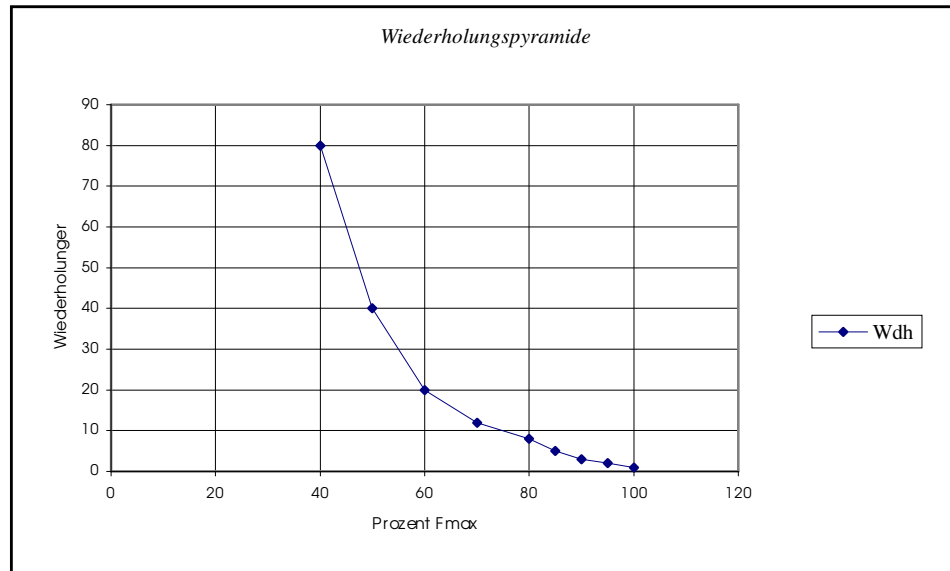


Abb.4.5: LWV in Anlehnung an SCHMIDTBLEICHER (1994, 171).

⁷⁹ Vgl. GUSTAVSEN/STREECK (1991, 48). Da die von ihnen zitierte Arbeit von HOLTEN nur im skandinavischen Original vorliegt, wurden keine Angaben darüber gemacht werden, worauf sich das gestellte LWV gründet.

Dabei hält er jedoch ausdrücklich fest, dass dieses LWV lediglich für die Übung des Bankdrückens gültig ist und in Abhängigkeit von der Bewegung und/oder Muskelgruppe eine beträchtliche Variationsbreite hinsichtlich dieser Normzahlen auftreten kann.⁸⁰

Die Abhängigkeit des LWVs von der Kraftübung bzw. der beanspruchten Muskelgruppe zeigen Untersuchungen von HOEGER et al.⁸¹ Die Untersuchungsergebnisse mit krafttrainingsunerfahrenen Männern ergeben vor allem für die Übung des Beinpressens für alle getesteten Intensitäten (zwischen 40 und 80%) signifikante Unterschiede des LWV im Vergleich zum Bankdrücken. Zu anderen Ergebnissen hingegen kommen MORALES/SOBONYA bei Tests mit Leistungssportlern (Footballer und Werfer), bei denen sie bei Intensitäten über 70% von Fmax ähnliche LWV bei verschiedenen Kraftübungen ermitteln.⁸²

Auch die jeweils von den Probanden ausgeübte Sportart scheint das LWV zu beeinflussen. So hebt u. a. ZATSIORSKY hervor, dass das LWV bei verschiedenen Sportlern und Bewegungen variieren kann und gibt als Beispiel den Kurvenverlauf zweier unterschiedlicher Sportler an (siehe Abb. 4.6).⁸³

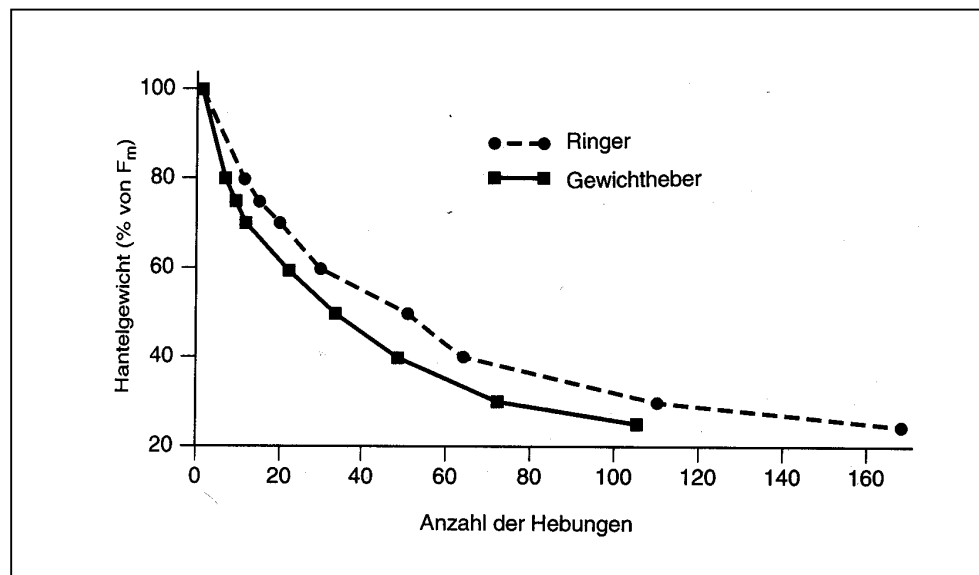


Abb.4.6: LWV für zwei Sportler für die Übung des Bankdrückens (aus: ZATSIORSKY, 1996, 109).

Ferner scheint auch ein gezieltes Training Einfluss auf das LWV zu haben. In Untersuchungen von BRAITH et al. verändert sich das LWV bei der Testbewegung der

⁸⁰ Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1994, 171).

⁸¹ Vgl. HOEGER et al. (1987).

⁸² Vgl. MORALES/SOBONYA (1996).

⁸³ Vgl. ZATSIORSKY (1996, 108).

Knieflexion und -extension auf einem Tensiometer bei einer Gruppe untrainierter Männer und Frauen nach 18wöchigem Training dahingehend, dass die mit 7-10 Wiederholungen zu bewältigende Last vor dem Training bei 70% des EWMs, nach dem Training jedoch bei 80% des EWMs liegt.⁸⁴ Diese Untersuchungsergebnisse werfen zudem Fragen hinsichtlich der in der Krafttrainingsliteratur üblichen Angaben zur Wiederholungszahl und jeweils zugehöriger Belastungsintensität auf.

Zu entgegengesetzten Ergebnissen kommen MAYHEW/BALL/ARNOLD, die beim Bankdrücken keine Unterschiede im LWV vor und nach dem Training nachweisen können.⁸⁵

Die aufgeführten Beispiele machen deutlich, dass es anscheinend keinen allgemeingültigen Zusammenhang zwischen der Lasthöhe und der Wiederholungszahl gibt, sondern vielmehr eine Reihe unterschiedlicher Faktoren berücksichtigt werden müssen. So hängt das LWV u. a. von den jeweils eingesetzten Muskelgruppen, dem Trainingszustand, der Dauer und Art des betriebenen Krafttrainings sowie von der Motivation und der Leidensfähigkeit der getesteten Personen ab. Nach Untersuchungen von HOFMANN und MARSCHALL/FRÖHLICH sind aufgrund dieser Gegebenheiten verallgemeinernde Angaben zum LWV nicht aufrechtzuerhalten.⁸⁶

Diese Überlegungen müssen dementsprechend bei der Anwendung dieser Methode zur Festlegung der Maximalkraft berücksichtigt werden.

Die verschiedenen Untersuchungsergebnisse lassen zudem Zweifel aufkommen, ob die für die verschiedenen Trainingsmethoden angegebenen prozentualen Intensitätsangaben für jede Übung und jedes Individuum stets gleichermaßen gültig sind. Diese Zweifel werfen als nächstes die Frage bezüglich einer Allgemeingültigkeit von prozentualen Intensitätsvorgaben für die verschiedenen Krafttrainingsmethoden auf. Wenn es tatsächlich gravierende individuelle Schwankungen des LWV gibt, könnte dies die Effektivität eines Krafttrainings mit verbindlichen Intensitätsvorgaben negativ beeinflussen.⁸⁷

⁸⁴ Vgl. BRAITH et al. (1993).

⁸⁵ Vgl. MAYHEW/BALL/ARNOLD (1989).

⁸⁶ Vgl. HOFMANN (1997, 75) und MARSCHALL/FRÖHLICH (1999).

⁸⁷ Eine allgemeingültige Intensitätsvorgabe käme damit quasi einer jeweils individuell unterschiedlichen Reizkonfiguration gleich. So kann z. B. für ein Hypertrophietraining die Vorgabe sein, mit 80% Fmax 10 Wiederholungen zu absolvieren. Kann jedoch eine Person mit dieser Last locker 20 Bewegungen absolvieren, ergeben sich für ihn völlig andere Trainingseffekte als für jemanden, der gerade die 10 Wiederholungen schafft.

4.2 BIOCHEMISCHE / MEDIZINISCHE METHODEN

Die anfangs vor allem im Bereich des Leistungssports angewendete Belastungssteuerung anhand medizinischer und/oder biochemischer Parameter hat sich im Laufe der Jahre immer weiter verbreitet und ausgedehnt.. So wurden stetig neue Parameter bzw. Diagnostikmethoden erforscht und eingesetzt. Zu den geläufigsten Parametern gehören u. a. Herzfrequenz, Atemfrequenz, Sauerstoffaufnahme, respiratorischer Quotient, Laktat, Creatinkinase, verschiedene Hormone u.a. Vor allem in den Ausdauersportarten ist eine Leistungsdiagnostik und –steuerung mittels einer oder mehrerer dieser Parameter weit verbreitet, im Kraftsport hingegen wird eher selten auf biochemische und/oder medizinische Belastungssteuerung zurückgegriffen. So gibt es zwar Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen von Krafttraining auf die verschiedensten Parameter, jedoch finden sich im Gegensatz zum Ausdauerbereich nur wenig Hinweise auf eine Anwendung in der täglichen Praxis.⁸⁸ Damit stellt sich die Frage, ob eine biochemisch/medizinische Belastungssteuerung im Krafttraining überhaupt sinnvoll einsetzbar ist bzw. ob und inwieweit sie in die tägliche Praxis umzusetzen ist.

Im Folgenden soll lediglich auf die in dieser Arbeit relevanten Parameter kurz eingegangen werden.

4.2.1 Intramuskuläre Substanzen

Intramuskuläre Substanzen werden u. a. durch Permeabilitätsveränderungen der Muskelzellmembranen freigesetzt, die aufgrund verschiedener Mechanismen herbeigeführt werden können. So können zum einen traumatische Schädigungen Zellnekrosen hervorrufen, zum anderen kann es - z. B. nach körperlichen Belastungen - aufgrund verschiedener biochemischer und/oder substruktureller Mechanismen zu reversiblen Veränderungen der Zellmembran kommen. Diese Änderungen der Zellmembran aufgrund hoher körperlicher Belastung werden auf unterschiedliche Faktoren zurückgeführt. Als mögliche Mechanismen werden u. a. Ischämie und/oder Hypoxie, Störungen der Regulationsprozesse, eine Reduktion der ATP-Produktion, erhöhte CA^{++} -Diffusion in die Zelle, mangelnde Energiebereitstellung, Katecholaminfreisetzung, Belastungsacidose, Aktivierung lysosomaler Enzyme und Freier Radikaler sowie Veränderungen der Myofibrillen und Mitochondrien genannt.⁸⁹ Es wird

⁸⁸ Untersuchungen hinsichtlich einer Wechselwirkung verschiedener Parameter mit einem Krafttraining sind u. a. nachzulesen bei: TESCH (1987, 67ff); JACKSON (1992; 131ff) und KRAEMER et al. (1987; 247ff). In verschiedenen Fachbüchern zum Thema Krafttraining hingegen sind keinerlei Hinweise auf eine diesbezüglich mögliche Diagnostik zu finden (vgl. z. B. LETZELTER/LETZELTER (1993) oder ZATSIORSKY (1996)).

⁸⁹ Siehe u. a. BARWICH et al. (1982); LANGER et al. (1985) TESCH./COLLIANDER/KAISER (1986), und JACKSON (1992). Eine Übersicht über verschiedene Mechanismen durch körperliche

vermutet, dass sich die Permeabilität der Zellmembranen durch kontinuierliches Training verringert.⁹⁰

In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Pilotstudie sollte u. a. untersucht werden, ob die Proteine Myoglobin (MB) und Heart-Fatty Acid Binding Protein (H-FABP) geeignet sind, die bislang in der Sportmedizin geläufige Belastungssteuerung mittels Creatinkinase (CK) zu ergänzen, zu verbessern oder gar zu ersetzen. Creatinkinase wird im Bereich des Leistungssports vor allem zur Kontrolle der Belastungsverarbeitung von Trainingseinheiten eingesetzt. Ein Nachteil dieser Methode ist das erst stark zeitverzögert auftretende Maximum von CK im Blut. In der Regel ist eine maximale Anreicherung im Blut nach ca. 24 Stunden zu beobachten, jedoch kann in Abhängigkeit der ausgeübten sportlichen Belastung auch erst nach 48 oder 72 Stunden der Peak erreicht werden.⁹¹ Bei einem täglichen Training ergeben sich dadurch Probleme in der Belastungsdiagnostik z. B. infolge einer kontinuierliche Aufstockung der Belastung oder eventueller traumatischer Ereignisse.

Myoglobin

Myoglobin (MB) ist ein im Skelett- und Herzmuskel lokalisiertes, an Häm gebundenes kettenförmiges Protein, dessen Hauptaufgabe der Sauerstofftransport in die und innerhalb der Zelle ist. Des Weiteren kann es als Kurzspeicher für O² Schwankungen der Sauerstoffversorgung der Mitochondrien (z. B. während einer Kontraktion) ausgleichen. Erhöhte Myoglobinkonzentrationen im Blut sind u.a. nach einem Herzinfarkt oder als Antwort auf physisches Training nachweisbar.⁹² Die Myoglobinkonzentration ist abhängig vom Geschlecht, der ethnischen Zugehörigkeit sowie dem Alter, wobei die Altersabhängigkeit auf eine Abnahme der glomerulären Filtrationsrate zurückgeführt werden kann. In Hinblick auf die Abhängigkeit von Geschlecht und ethnischer Zugehörigkeit ist eine positive Korrelation mit der Muskelmasse anzunehmen.⁹³

Aufgrund des geringen Molekulargewichts wird Myoglobin rasch in die Blutbahn freigesetzt und erreicht nach ca. ein bis zwei Stunden seinen maximalen Wert, der aufgrund einer hohen Clearance-Rate der Niere bereits nach 24 Std. wieder sehr stark

Belastungen hervorgerufener Muskelschädigungen sowie mögliche Adaptationen geben EBBELING/CLARKSON (1989).

⁹⁰ Vgl. NØRREGAARD HANSEN et al. (1982).

⁹¹ Vgl. z. B. LANGER et al. (1985, 397ff) NEUMANN (1989, 122ff), EBBELING/CLARKSON (1989) sowie LORENZ et al. (1993,100).

⁹² Vgl. u.a. SYLVÉN/JANSSON./BÖÖK (1984); LANGER et al. (1985) und VAN NIEUWENHOVEN et al. (1995).

⁹³ So besitzen Frauen im Allgemeinen und Asiaten im Vergleich zu Europäern oder aus Afrika stammenden Amerikanern stets niedrigere MB-Konzentrationen. Siehe hierzu auch CHEN et al. (1980).

gesunken ist.⁹⁴ Myoglobin ist daher ein in der Sportmedizin häufig eingesetzter schneller und spezifischer Indikator für übermäßige Muskelbelastungen.

Fettsäurebindendes Protein (FABP)

Die Familie der FABPs ist im Gegensatz zu Myoglobin bislang weniger gut erforscht. Neben dem in dieser Studie untersuchten H-FABP (Heart-Fatty Acid Binding Protein) gibt es eine Reihe weiterer FABPs, die in verschiedenen anderen Gewebetypen vorkommen.⁹⁵ H-FABP ist hauptsächlich im Herzmuskel sowie im Skelettmuskel lokalisiert, wo es vermutlich für den Transport von langkettigen Fettsäuren vom Sarkolemm durch das Cytoplasma zu den verschiedenen Orten der Veresterung und Oxidierung der Zelle verantwortlich ist.⁹⁶ FABP hat ein geringes Molekulargewicht, so dass es bezüglich der Austrittsgeschwindigkeit in die Blutbahn sowie der Clearance-Rate mit Myoglobin vergleichbar ist. Damit ist es neben MB ein geeigneter biochemischer Parameter für eine schnelle Diagnostik von Verletzungen bzw. Veränderungen sowohl im Myokard als auch im Skelettmuskel. Im Gegensatz zu Myoglobin ist das im Skelettmuskel lokalisierte FABP in seiner Struktur mit dem im Herzmuskel lokalisiertem FABP identisch. Durch das Verhältnis der Konzentrationen von Myoglobin zu FABP im Serum kann jedoch zwischen myokardialen und skelettmuskulären Veränderungen differenziert werden, da der Quotient im Herzmuskel 4,5, im Skelettmuskel hingegen 20-70 beträgt.⁹⁷

4.3 PSYCHO-PHYSISCHE METHODEN

Vor allem im rehabilitativen Krafttraining - sei es im Bereich der koronaren oder der orthopädischen Rehabilitation - ist eine Belastungssteuerung anhand von Maximalkrafttests häufig nicht möglich. Daher wurde hier nach anderen Verfahren gesucht, die eventuell ebenfalls eine adäquate Belastungssteuerung ermöglichen können. Meist wird auf die Methodik der individuellen Selbsteinschätzung zurückgegriffen. Hierbei handelt es sich um Skalen mit einer jeweils unterschiedlichen Anzahl subjektiver Anstrengungsgrade, anhand derer der Proband seine Belastung einschätzen soll. Die i. d. R. primär für eine Steuerung im Ausdauertraining konzipierten Skalen basieren auf nachgewiesenen Beziehungen zwischen dem individuellen Belastungsempfinden und verschiedenen physiologischen Parametern wie z. B. Pulsfrequenz, Atmung, Sauerstoffaufnahme und Laktat- oder Hormongehalt im Blut. Anhand die-

⁹⁴ Vgl. z. B. LORENZ et al. (1993,100) sowie LANGER et al. (1985, 397ff).

⁹⁵ Eine Übersicht über die Familie der FABPs geben u.a. GLATZ/VAN DER VUSSE (1990) und STORCH/THUMSER (2000).

⁹⁶ Vgl. z. B. OHKAHRU et al. (1995), SCHAAP/VAN DER VUSSE /GLATZ (1998) und STORCH/THUMSER (2000).

⁹⁷ Vgl. VAN NIEUWENHOVEN et al. (1995).

ser physiologischen Parameter wurden verschiedene Skalen entwickelt, so u. a. die RPE-Skala nach BORG, deren Skalierung ursprünglich eng an die Herzfrequenz angelehnt war (s. u.), die kombinierte Atmungs- und Belastungsskala nach WICHARZ oder die u. a. mit dem Laktatgehalt korrespondierende WANNER-Skala.⁹⁸ In der vorliegenden Arbeit wurde mit der RPE-Skala gearbeitet, die nachfolgend kurz vorgestellt wird.

4.3.1 RPE-Skala

Die RPE - Skala (Rating of Perceived Exertion) dient der Klassifikation von körperlichen Belastungen mit Hilfe einer persönlichen Anstrengungswahrnehmung und wurde erstmals 1970 von BORG entwickelt (als Synonym dient daher auch der Begriff "BORG-Skala"). Er modifizierte die ursprüngliche Kategorie-Skala zu einer Verhältnisskala mit einer jetzt 10-stelligen Skalierung, wobei die Anstrengungsgrade wiederum analog sensorischer Rückmeldungen beschrieben werden.⁹⁹

6		0	nichts
7	sehr, sehr leicht	0,5	sehr, sehr leicht
8		1	sehr leicht
9	sehr leicht	2	leicht
10		3	
11	recht leicht	4	etwas schwer
12		5	schwer
13	etwas schwer	6	
14		7	sehr schwer
15	schwer	8	
16		9	
17	sehr schwer	10	sehr, sehr schwer
18		•	maximal
19	sehr, sehr schwer		
20			

Abb.4.7: RPE-Skala nach BORG; **a**: Kategorie-Skala von 1971; **b**: modifizierte Variante von 1982 (Verhältnisskala).

⁹⁸ Vgl. u. a. BORG (1982), KRAEMER et al. (1987) und WANNER (1985). Vermutlich sind sowohl zentrale Faktoren (wie Atmung und Herzfrequenz) als auch lokale Faktoren (wie Laktat- und Hormonstatus im Blut) Auslöser für ein bestimmtes Belastungsempfinden, wobei zudem auch Trainingszustand, Alter, Art und Dauer der Belastung sowie Größe der beanspruchten Muskelgruppe entscheidenden Einfluß auf die subjektiv empfundene Belastung ausüben (vgl. WANNER, 1985, 105f).

⁹⁹ Vgl. BORG (1982) und OBERSTE (1995).

Bei der Benutzung dieser Skala ist die Verwendung von Dezimalstellen (z. B. 5,5) als auch die Überschreitung der Grenzwerte 0,5 und 10 durchaus vorgesehen.¹⁰⁰

Ursprünglich wurde diese Bewertungsskala vor allem im Bereich von Ausdauerleistungen verwendet, da sie auf den Zusammenhängen von Herzfrequenz, O₂-Verbrauch und Belastungsintensität basiert. 1971 reduzierte BORG die anfangs 20-teilige Skala auf 15 Punkte und ordnete jeder zweiten Zahl eine verbale Belastungsempfindung zu. Die von 6 bis 20 reichende Skala sollte analog zu Herzfrequenzen zwischen 60 und 200 Schlägen^{min-1} einsetzbar sein. Diese Skala wurde 1982 von BORG nochmals zu revidiert.

Wurde die RPE-Skala ursprünglich vorwiegend im Bereich des Ausdauersports eingesetzt, findet sie seit einigen Jahren auch zunehmend im Kraftsportbereich und in der medizinischen Rehabilitation Verwendung, wobei in erster Linie die Skala von 1971 benutzt wird. Vor allem in der Rehabilitation dient sie häufig als einziger Parameter der Belastungssteuerung, indem den einzelnen Anstrengungswahrnehmungen jeweils bestimmte Trainingseffekte (der Anstrengungsgrad XY entspricht z. B. einem Hypertrophietraining) zugeordnet werden.¹⁰¹

Die RPE-Skala kann in verschiedenen Phasen einer Übung eingesetzt werden, wobei jeweils ein anderes Ziel verfolgt wird. Zum einen dient sie der ersten Belastungseinschätzung eines möglichen Trainingsgewichts. Gibt ein ungeübter bzw. untrainierter Proband hier bereits Werte oberhalb von 13 bis 14 an, so kann davon ausgegangen werden, dass dieses Gewicht zur Bewältigung von beispielsweise mehr als 15 Wiederholungen und 4 Serien zu hoch ist. Dieser primären Lasteinschätzung folgt dann eine zweite Bewertung nach Beendigung einer Übung, d. h. nach Abschluss aller Wiederholungen und Serien. Diese Einschätzung dient dann letztlich als Hinweis für die Belastungsintensität insgesamt, d. h. also als Parameter für das angestrebte Trainingsziel.¹⁰²

¹⁰⁰ Vgl. BORG (1982, 380).

¹⁰¹ Weitere Angaben zur Benutzung der RPE-Skala zur Belastungssteuerung im Krafttraining finden sich u. a. bei TRUNZ/FREIWALD/KONRAD (1992) sowie bei FREIWALD (1991). Diese Form der Belastungssteuerung ist jedoch nicht ganz unproblematisch, da die Benutzung der RPE-Skala einige Probleme mit sich bringt. So erfordert eine wenigstens halbwegs realistische Einschätzung der geleisteten Arbeit sowohl einige Übung als auch eine recht gut ausgeprägte Selbstwahrnehmung, ganz abgesehen davon, dass der Proband (bzw. Patient) die Bereitschaft mitbringen muß, sich selbst zu überprüfen.

¹⁰² Anweisungen zur Bestimmung des Trainingsgewichts finden sich u. a. bei TRUNZ/FREIWALD/KONRAD (1992, 23ff) sowie bei FREIWALD (1991, 43f).

5 (KRAFT-) SPORT UND PSYCHE

Eine sportliche Leistung wird durch eine Vielzahl verschiedener persönlicher Fähigkeiten und äußeren Bedingungen beeinflusst und ist im Prinzip Ausdruck der allumfassenden individuellen Persönlichkeit des Sportlers, wie auch immer das von ihm angestrebte Ziel definiert ist. Die beeinflussenden Faktoren der sportlichen Leistung sind dabei sowohl in der physischen und psychischen Verfassung des Sportlers wie auch in seinem personalen (sozialen) und apersonalen (materiellen) Umfeld zu suchen.¹⁰³

Training wirkt stets auf die bereits geformte Persönlichkeit eines Individuums ein, das durch seine Erbanlagen, Erfahrungen, Zielvorstellungen und seinem momentanen Leistungsstand die Wirkung des Trainings beeinflusst. Letztlich sind fast alle Fähigkeiten mehr oder weniger stark von der Psyche des Sportlers abhängig, wie z. B. der Leistungsbereitschaft, der Disziplin, dem Willen oder der Motivation.¹⁰⁴ Auch die sogenannte „Tagesform“ ist - neben äußeren Faktoren wie z. B. Tageszeit, Wetter o. ä. - von der Psyche mitbestimmt.

Während die Bedeutung der Psyche hinsichtlich einer sportliche Leistung hinreichend belegt ist, gibt es umgekehrt Hinweise, dass auch der Sport Einfluss auf die Psyche des Sportlers hat. So beschäftigen sich seit Anfang der 80ziger Jahre zunehmend mehr Wissenschaftler mit der These, dass Sporttreiben Auswirkungen verschiedenster Art auf die *psychische Gesundheit* hat. Die Mehrzahl der mit diesem Forschungsansatz durchgeführten Untersuchungen liegen im Bereich des Ausdauersports. Dies liegt darin begründet, dass hier von den Forschern am ehesten Gesundheitswirkungen erwartet werden, da u. a. mit dem Kreislauftraining einhergehende physiologische Veränderungen als Ursache für die psychischen Effekte herangezogen werden können.¹⁰⁵ Untersuchungen über andere Formen des Sporttreibens auf die Psyche sind hingegen bislang kaum durchgeführt worden.

Im Folgenden soll zunächst kurz der Begriff „Psychische Gesundheit“ erläutert werden, bevor darauf aufbauend Forschungsergebnisse zu den Auswirkungen von

¹⁰³ Vgl. MARTIN (1993, 24ff).

¹⁰⁴ Wie stark der Einfluss der Motivation auf eine zu erbringende Leistung ist, wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen geprüft. So können ohne Training, allein durch Motivationsanreize Kraftsteigerungen um bis zu 20 % auftreten (HOLLMANN, 1990, 192f). Bei leistungsorientierten Kraftsportlern, die bereits bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit trainiert sind, ergeben sich diese Motivationssteigerungen dagegen nicht.

¹⁰⁵ Vgl. MRAZEK (1986, 91ff) und ALFERMANN et al. (1993, 22). Einen guten Überblick über die verschiedenen Hypothesen gibt SCHLICHT (1994, 9ff). Er weist ebenfalls darauf hin, dass sich die meisten der Erklärungsansätze mit der Wirkung aerober sportlicher Betätigung befassen, lediglich einige wenige Arbeiten würden sich mit unbestimmten sportlichen Aktivitäten beschäftigen. Als Erklärungsansätze werden von SCHLICHT (1994, 35ff) Selektions- und Erwartungseffekte, das Verhalten sowie sozialpsychologische Erklärungen angeführt (Vgl. auch Kap. 5.3).

Sport auf die psychische Gesundheit sowie mögliche Erklärungsansätze dargestellt werden.

5.1 PSYCHISCHE GESUNDHEIT

Gesundheit allgemein wird von der Weltgesundheitsorganisation als völliges körperliches, geistiges und soziales Wohlbefinden und nicht allein als Fehlen von Krankheit oder Schwäche definiert.¹⁰⁶ Damit wird deutlich, dass die Gesundheit von jedem Menschen individuell und subjektiv beurteilt werden muss, denn ein objektiv gesund erscheinender Mensch kann sich subjektiv durchaus krank fühlen bzw. ein Individuum kann trotz (objektiver) Schwächen oder Störungen ein völliges Wohlbefinden spüren. Gesundheit kann zudem kein stabiler Zustand sein, da sie durch ein ständiges Auf und Ab im Wohl- bzw. Missempfinden in dem sozialen, physischen und psychischen Bereich eines jeden Individuums geprägt ist. Jeder Mensch muss sich stets auf veränderte Bedingungen einstellen, sie bewerten und darauf reagieren und ist damit für seine Gesundheit bzw. sein Wohlbefinden mitverantwortlich.¹⁰⁷

Psychische Gesundheit als Teil der allgemeinen Gesundheit wird somit durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Als wichtige Schlüsselbegriffe wären hier *seelisch-körperliches Wohlbefinden*, *Bewältigungs- bzw. Regulationskompetenz* sowie Konstrukte wie Selbstwertschätzung, Selbstaktualisierung und Sinnfindung im Leben, also im weitesten Sinne das *Selbstkonzept* zu nennen.¹⁰⁸

Diese Schlüsselbegriffe sollen im Folgenden kurz erläutert werden, wobei für detaillierte Ausführungen auf die Fachliteratur verwiesen sei.

5.1.1 Wohlbefinden

"Wohlbefinden" eröffnet ein weites Begriffsfeld und wird mit Worten wie Lebenszufriedenheit und Lebensqualität, Glück, Freude, Beschwerde-, Sorgen- und Belastungsfreiheit assoziiert. Dies führt häufig zu einer ungenauen und uneinheitlichen Verwendung des Begriffs. BECKER hat daher ein Strukturmodell erarbeitet, in dem er Wohlbefinden zum einen in eine *physische* und eine *psychische* Komponente untergliedert und zudem *aktuelles* und *habituelles* Wohlbefinden unterscheidet.¹⁰⁹

Unter *aktuellem Wohlbefinden* versteht BECKER das momentane Erleben von positiven Gefühlen, Stimmungen und körperlichen (beschwerdefreien) Empfindungen; d. h. aktuelles Wohlbefinden ist ein kurzfristiger, sich rasch ändernder Zustand. Im Gegensatz dazu bezeichnet *habituelles Wohlbefinden* einen für einen längeren Zeit-

¹⁰⁶ Vgl. MIELKE (1997, 1) und SCHÜTTE (1993, 95).

¹⁰⁷ Vgl. SCHÜTTE (1993, 96f).

¹⁰⁸ Vgl. u. a. SCHLICHT (1994, 74f) und FREY (1991, 133).

¹⁰⁹ Vgl. BECKER (1991, 13ff).

raum gültiges, für eine Person typisches Wohlbefinden, das überwiegend durch kognitive Prozesse zustande kommt; d. h. bei häufig auftretenden aktuellen Wohlbefindenzuständen entwickelt sich zumeist ein länger andauernder, relativ stabiler Zustand.¹¹⁰

Ebenso wie habituelles und aktuelles Wohlbefinden sind auch physisches und psychisches Wohlbefinden subjektive Phänomene, die nur vom Individuum selbst beurteilt und beschrieben werden können.

Beim *physischen Wohlbefinden* handelt es sich ausschließlich um das Verhältnis einer Person zu seinem Körper, d.h. um die körperlichen Zustände, die von einer Person positiv wahrgenommen werden.¹¹¹ In einer faktorenanalytischen Untersuchung extrahiert FRANK sieben Dimensionen, mit denen das körperliche Wohlbefinden differenziert beschrieben werden kann. Hierzu zählen u. a.: Zufriedenheit mit dem momentanen Körperzustand; angenehmes Körperempfinden; Gefühle von Ruhe und Muße sowie Vitalität und Lebensfreude; Lustempfinden; Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit.

Psychisches Wohlbefinden wird zumeist in die drei strukturellen Komponenten negativer Gefühlszustand, positiver Gefühlszustand und Lebenszufriedenheit untergliedert. Der positive Gefühlszustand ist charakterisiert durch Emotionen wie Glück, Freude, Spaß und entspanntes Wohlbehagen, wohingegen der negative Zustand Gefühle wie Angst, Ärger Trauer und Furcht umfasst. Lebenszufriedenheit korrespondiert mit dem kognitiven Anteil des psychischen Wohlbefindens und entspricht dem Globalurteil der bisherigen Lebensgestaltung.¹¹²

Bei der Untergliederung in physisches und psychisches Wohlbefinden ist jedoch zu bedenken, dass auch das psychische Wohlbefinden häufig eng mit physiologischen und neurologischen Prozessen verknüpft sein kann und eine strikte Trennung daher eigentlich wenig sinnvoll ist.¹¹³ Beschreibt ein Individuum sein allgemeines Befinden, handelt es sich daher zumeist um seinen psychophysischen Zustand.

Neben den oben beschriebenen Komponenten des Wohlbefindens wird häufig auch von *subjektivem Wohlbefinden* gesprochen. MAYRING legt hierzu einen Vier-Faktoren-Ansatz vor, in welchem er das subjektive Wohlbefinden in die Faktoren (subjektive) Belastungsfreiheit, Freude, Glück, und Zufriedenheit untergliedert.¹¹⁴ Für ihn ist *Lebensqualität* die Kombination aus subjektivem Wohlbefinden

¹¹⁰ Detailliertere Ausführungen zu den verschiedenen Theorien des aktuellen und habituellen Wohlbefindens finden sich bei BECKER (1991).

¹¹¹ Vgl. FRANK (1991, 72f).

¹¹² Vgl. u. a. SCHLICHT (1994, 76ff) und SCHWENKMEZGER (1991, 121f).

¹¹³ Vgl. FRANK (1991, 73).

¹¹⁴ Vgl. MAYRING (1991, 51ff). Sein Ansatz hat einiges mit der bereits beschriebenen Differenzierung des psychischen Wohlbefindens gemein. Ebenso wie BECKER unterscheidet er in

sowie positiven objektiven Lebensbedingungen und *psychische Gesundheit* der Zusammenschluss von subjektivem Wohlbefinden und individuellen Kompetenzen.

Abschließend sei noch auf das *soziale Wohlbefinden* hingewiesen. Hierbei handelt es sich um die (guten oder weniger guten) Beziehungen zu anderen Menschen und die damit verbundenen sozialen Faktoren wie z. B. Unterstützung durch Familie/Freunde, soziales Umfeld in Beruf und Freizeit, Gruppenerleben etc.

Wohlbefinden ist demnach ein Begriff, der sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt. Andererseits jedoch wird er umgangssprachlich zumeist undifferenziert im Sinne von einem allgemeinen (d.h. körperlichen, seelischen und sozialen) Zustand der Zufriedenheit verwendet. Dies ist bei Aussagen von Personen über ihr Wohlbefinden zu berücksichtigen.

5.1.2 Regulationskompetenz

Körperliche oder psychische Belastungs- oder Spannungssituationen rufen Stressreaktionen hervor, wenn sie mit den verfügbaren personalen, sozialen oder materiellen Ressourcen eines Individuums nicht ohne weiteres bewältigt werden können. Dieser Stress muss von den Betroffenen im Rahmen eines aktiven und anstrengenden Prozesses individuell gemeistert werden. Daher ist jedes Individuum bemüht, ein einmal erkanntes Ungleichgewicht zwischen situativen Anforderungen und personalen Ressourcen abzubauen, da sonst sein Verhältnis zum sozialen Umfeld gestört oder seine Integrationskraft überfordert werden können. Jeder Mensch entwickelt dabei zumeist interne und/oder externe Anpassungsleistungen (wie z. B. erhöhte Anspannung, Resistenzverhalten oder Mobilisierung von Energiereserven) und erwirbt so die Fähigkeit, Stress- bzw. Spannungssituationen durch Auseinandersetzung mit der jeweiligen Lebenssituation zu bewältigen. Eine Person gilt dann als regulationskompetent, wenn sie eine stressbezogene Transaktion erfolgreich bewältigt, d. h. wenn sie über das Wissen verfügt, welche Aktionen bei einer gegebenen Situation den größten Erfolg versprechen und wenn sie sich damit der Lage gewachsen fühlt.¹¹⁵ Verfügt beispielsweise eine Person in der orthopädischen Rehabilitation über eine geeignete Regulationskompetenz, kann dies den Heilungsprozess beschleunigen, wohingegen nicht regulationskompetente Patienten evtl. an ihrer Situation verzweifeln, sich nichts zutrauen, daher kaum aktiv mitarbeiten und dadurch die Genesung ggf. zum Stillstand bringen oder gar gefährden.

ein habituelles und ein aktuelles Wohlbefinden. Im Weiteren definiert er *Subjektive Belastungsfreiheit* als Balance zwischen dem unabhängig voneinander realisierbarem positiven und negativen Befinden, *Freude* umschreibt die kurzfristigen, aktuellen positiven Gefühle, während *Glück* sowohl als kurzfristig als auch als langfristig wirksame Komponente zum Tragen kommen kann. *Zufriedenheit* schließlich gilt als kognitiver Faktor.

¹¹⁵ Vgl. SCHLICHT (1994, 80ff) und FUCHS/HAHN/SCHWARZER (1994, 67).

5.1.3 Selbstkonzept / Körperkonzept

Neben dem Wohlbefinden hat auch das Selbst- bzw. das Körperkonzept entscheidenden Einfluss auf die psychische Gesundheit.

Das *Selbstkonzept* setzt sich aus der Gesamtheit der auf die eigene Person bezogenen Kognitionen und Bewertungen zusammen. Diese Bewertungen und Kognitionen werden nach SCHÜTTE u. a. durch folgende Komponenten bzw. Dimensionen bestimmt:¹¹⁶

- Das Körperbild (Körperkonzept).
- Der soziale Kontext (soziales Selbst).
- Die Leistungsfähigkeit; Selbstverwirklichung in Beruf und Freizeit.
- Die Selbstwertschätzung (Selbstachtung, Selbstzufriedenheit, Selbstsicherheit) in Hinblick auf das soziale Umfeld, das eigene Leistungsverhalten sowie das eigene Aussehen.

Das sich ein Leben lang weiterentwickelnde Selbstkonzept kann grob als Gesamtheit aller Auffassungen beschrieben werden, die ein Individuum über die verschiedensten Aspekte der eigenen Person hat. Es stellt ein mehr oder weniger stabilisierendes und kontinuierliches System dar, anhand dessen neue Erfahrungen eingeordnet und verarbeitet werden können. Daher hat der Mensch ein generelles Bedürfnis, ein möglichst stabiles Selbstkonzept aufrecht zu erhalten und sein Selbstwertgefühl nach Möglichkeit sogar zu erhöhen.

Daher ist es nicht weiter verwunderlich, dass die Korrelation zwischen Körperkonzept und globalem Selbstkonzept sehr hoch ist, d. h. es gibt erkennbare (positive wie auch negative) Zusammenhänge zwischen der Zufriedenheit mit dem Körper und der allgemeinen Wertschätzung, der emotionalen Stabilität, sozialen Ängstlichkeit, Depression u. ä.¹¹⁷ Die Zufriedenheit mit dem eigenen Körper wird dabei wesentlich durch die persönliche Einstellung zu den objektiven, anatomischen und physiologischen Merkmalen bestimmt, d. h. auch körperbehinderte Kinder können durchaus ein positives Körper- und Selbstwertgefühl entwickeln.¹¹⁸

Aufgrund der wichtigen Rolle, die das Körperkonzept für das Selbstkonzept spielt, können vor allem plötzliche (negative) Veränderungen der körperlichen Eigenschaften, Fähigkeiten oder Fertigkeiten (z. B. bei Krankheit oder Unfall) nachhaltige Störungen u. a. in der Selbstwertschätzung mit sich bringen. Dieser Aspekt ist sicherlich bei Patienten in der orthopädischen Rehabilitation in unterschiedlich hohem Maße von Bedeutung. Positive Veränderungen der körperlichen Eigen-

¹¹⁶ Vgl. SCHÜTTE (1993, 82ff).

¹¹⁷ Vgl. PAULUS (1986, 111f).

¹¹⁸ Vgl. MRAZEK (1986, 243).

schaften hingegen (z. B. eine durch Sporttreiben erlangte Fitness oder ein muskulöser und/oder schlanker Körper) können das Selbstwertgefühl nachhaltig steigern.

5.2 SPORT UND PSYCHO-PHYSISCHES BEFINDEN

Fast jeder kennt die Empfindung direkt im Anschluss an eine (moderate) sportliche Betätigung: man fühlt sich zumeist sowohl körperlich als auch psychisch wohler als zuvor. In Hinblick auf dieses sogenannten „Feeling-better“-Phänomen wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, um mögliche kurz- oder langfristige psychophysische Auswirkungen von Sport auf den Menschen zu untersuchen und zu erklären.

So soll Sport – vor allem Ausdauersportarten –Äquilibrationseffekte in Bezug auf das aktuelle Wohlbefinden (z. B. durch Reduktion von Ärger, Angst oder Depression sowie Stärkung z. B. von Ruhe) haben und sich positiv auf das habituelle Wohlbefinden (u. a. in Bezug auf Lebenszufriedenheit, Grundgestimmtheit, Selbstwertgefühl und Körperkonzept) auswirken. Auch die subjektive Einschätzung des Gesundheitszustandes soll positiv mit Sport korrelieren.¹¹⁹

In einer kritischen Betrachtung verschiedener aus den achtziger Jahren vorliegenden Überblicksartikel zum Thema "physical fitness and mental health" dokumentiert SCHLICHT, dass die Autoren z. T. die gleichen Experimente unterschiedlich einschätzen, die empirischen Befunde verschieden interpretieren und somit auch zu differierenden Urteilen gelangen. Hinzu kommt, dass sich die Begriffe "physical fitness" und "mental health" bedeutungsweit auslegen lassen. Alle Reviews weisen Mängel auf und lassen keine eindeutige Beantwortung der Frage zu, welche Auswirkungen das Training der körperlichen Fitness auf die verschiedenen Aspekte der psychischen Gesundheit hat.¹²⁰

Neben SCHLICHT kommen auch andere Meta-Analysen zu dem Schluss, dass sich ein *genereller* Zusammenhang zwischen sportlicher Aktivität und psychischer Gesundheit nicht nachweisen lässt.

Jedoch ist festzuhalten, dass durchaus Zusammenhänge hinsichtlich spezifischer Variablen, z. B. in Bezug auf bestimmte Personengruppen oder Teilaspekten der physischen Gesundheit, bestehen können. So korreliert Sport z. B. bei Personen mittleren Alters positiv mit der Grundgestimmtheit und der Selbstachtung und auch im Vergleich zwischen Männern und Frauen sind signifikante Unterschiede

¹¹⁹ Vgl. u.a. ABELE/BREHM/PAHMEIER (1997), ALFERMANN et al (1993), MRAZEK (1986).

¹²⁰ Vgl. SCHLICHT (1994, 40ff). Aber nicht nur die Reviews, auch viele Originalarbeiten weisen anscheinend Mängel auf. So bewertet SCHLICHT in seiner Meta-Analyse von 39 in Frage kommenden Arbeiten lediglich eine Arbeit als methodisch "sehr gut", 26 mit "gut" und die restlichen 12 Untersuchungen als "eher schwach".

hinsichtlich der positiven Auswirkungen von Sport feststellbar.¹²¹ PERRIG-CHIELLO und auch ARENT et al. in ihrem Review kommen zu der Erkenntnis, dass Sport bei älteren Personen (> 65 Jahre) zu signifikanten Verbesserungen der Stimmungslage führt.¹²² Aber auch bei jüngeren Probanden scheint Sport zwar geringe aber konsistente Verbesserungen der Stimmung hervorzurufen.¹²³

In ihrer Literatursichtung bis zum Jahr 1996 kommen CORBIN/PANGRAZI zu dem Ergebnis, dass physische Aktivität vermutlich einige Symptome von Depression und Angst lindern und die Stimmung verbessern kann, jedoch vermeiden sie es, einen direkten Zusammenhang zu bestätigen.¹²⁴

Auffällig ist, dass zumeist aerobe Ausdauersportarten für die verschiedenen Studien herangezogen werden, während Untersuchungen mit anderen Sportarten wie z. B. Gymnastik oder Kraftsport eher selten sind. Jedoch ist nicht erwiesen, dass sich Ausdauersportarten eher oder stärker auf die Psyche auswirken als etwa Gymnastik, Kraft- oder Mannschaftsportarten. So konnten z. B. EMERY/BLUMENTHAL in ihren Untersuchungen keinen Unterschied zwischen einer Ausdauer- und einer Kraftsportgruppe feststellen und PALMER et al. stellten sogar eine größere signifikante Reduktion von depressiven Symptomen beim Bodybuilding im Vergleich zu einem aeroben Steppprogramm fest.¹²⁵

In einer weiteren Studie konnte nachgewiesen werden, dass Angstzustände zwanzig Minuten nach einem Krafttraining mit niedriger Intensität (40-50% des EWM) signifikant abnahmen.¹²⁶ Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch TSUTSUMI et al., die bei älteren Personen vor allem bei einem Krafttraining mit geringer Intensität signifikante Verbesserungen der psychologischen Gesundheit feststellen.¹²⁷

Jedoch gibt es auch Untersuchungen, die keine unmittelbaren Veränderungen feststellen. So konnten z. B. KOLTYN et al. nach einem regenerativem Krafttraining keine unmittelbaren Veränderungen der habituellen Angst feststellen.¹²⁸

5.3 ERKLÄRUNGSANSÄTZE FÜR PSYCHISCHE EFFEKTE VON SPORT

Es gibt eine Reihe verschiedener Erklärungen für die psychischen Auswirkungen von Sport, wobei es kaum gesicherte Erkenntnisse gibt, sondern lediglich Hypothesen mit

¹²¹ Vgl. u.a. SCHLICHT (1994) und ABELE/BREHM/PAHMEIER (1997). Einen Überblick über verschiedene Studien zum Zusammenhang zwischen Sport und Wohlbefinden liefern auch WYDRA (1996, 102ff) sowie MRAZEK (1986, 91ff).

¹²² Vgl. PERRIG-CHIELLO (1998) und ARENT/LANDERS/ETNIER (2000).

¹²³ Vgl. u.a. PARFITT/ESTON/CONNOLLY (1996) und TREASURE/NEWBERRY (1998).

¹²⁴ Vgl. CORBIN/PANGRAZI (1996).

¹²⁵ Vgl. EMERY/BLUMENTHAL (1988, 367-379) und PALMER et al. (1995).

¹²⁶ Vgl. BARTHOLOMEW/LINDER (1998).

¹²⁷ Vgl. TSUTSUMI et al. (1998).

¹²⁸ Vgl. KOLTYN et al. (1995).

unterschiedlichen Ansatzpunkten. Die meisten Ansätze gehen von aeroben Ausdauersportarten aus, nur in wenigen ist eine Wirksamkeit auch bei anderen Sportarten wie z. B. Gymnastik, Kraft- oder Mannschaftsport gegeben.

Die wichtigsten Thesen sollen im folgenden kurz aufgelistet werden, ein detaillierter Überblick findet sich u. a. in SCHLICHT (1994) und FUCHS/HAHN/SCHWARZER (1994). Die nachfolgende Tabelle gibt zunächst einen kurzen Überblick über die verschiedenen Hypothesen.

Ansatzpunkt	Hypothese	Gesteigertes Wohlbefinden durch
Physiologisch	<ol style="list-style-type: none"> 1. Allgemeine Aktivierungs - H. 2. Thermo-Regulations – H. 3. Katecholamin – H. 4. Endorphin – H. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gesteigerte Sauerstoffversorgung 2. Erhöhte Körpertemperatur 3. Erhöhte Katecholaminausschüttung 4. Erhöhte Endorphinausschüttung
Psychologisch	<ol style="list-style-type: none"> 1. Meditative Bewusstseinszustände 2. Ablenkungs – Hypothese 3. Kontrollüberzeugungen bzw. Kompetenzerfahrung 4. Körperwahrnehmungs-H. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. „Flow“-Erlebnis 2. Einschränkung wahrnehmungsbelastender Faktoren 3. Erhöhung der Selbstwirksamkeitserwartung bzw. Erfahrung von Kompetenz 4. Höhere Leistungsfähigkeit und attraktivere Erscheinung erhöht Selbstkonzept
Psycho-physiologisch	Zweidimensionales Aktivierungsmodell	Steigerung der physiologischen und subjektiven Aktiviertheit
Unspezifisch	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selektions- / Erwartungseffekte 2. Verhalten 3. Sozialpsychologische H. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selektion von Probanden eines „Sporttyps“ die eine Erwartungshaltung an die Wirksamkeit von Sport haben 2. Sport als Konsequenz gesundheitsorientierter Maßnahmen 3. Sport als soziales Ereignis; Aufmerksamkeit von Übungsleitern / Mitsportlern

Tab. 5.1: Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Erklärungsansätze zu der Wirkung von Sport auf die Psyche (nach: SCHLICHT, 1994, 10ff und FUCHS/HAHN/SCHWARZER, 1994, 68f).

Die aufgeführten Hypothesen setzen an sehr unterschiedlichen Punkten an.

Neben *allgemeinen physiologischen Erklärungsversuchen* für ein gesteigertes Wohlbefinden aufgrund der Erhöhung der Körpertemperatur oder der Durchblutung gibt es *endokrinologische Ansätze*, die in der vermehrten Ausschüttung von Katecholaminen (z. B. Noradrenalin, Serotonin u.a.) oder von körpereigenen Opioiden (z. B. Endorphin) den Grund für die Wohlbefindenssteigerung sehen.

Psychologische Hypothesen verbinden z. B. das Gefühl des Wohlbehagens mit wiederholt erlebtem „flow“. Unter „flow“ ist ein *meditativer Zustand* zu verstehen, bei

dem die Person völlig von einer Aufgabe absorbiert wird, die sie nur um ihrer selbst Willen durchführt und die z. B. bei langandauernden aeroben Belastungen entstehen kann.

Andere Hypothesen setzen nicht bei einer Steigerung des Wohlbefindens, sondern bei der kurz- oder langfristigen Reduktion von stressbezogenen Zuständen (Spannung, Angst, Depressionen) durch Sport an.

So geht die *Ablenkungshypothese* davon aus, dass Sport (vorwiegend werden aerobe Belastungen aufgeführt) die externale Stimulation einschränkt und so kurzfristig von Stresssituationen ablenkt.

Die *Hypothese der Kontrollüberzeugungen* bzw. die *Kompetenzerfahrungshypothese* basiert auf der Vermutung, dass der Glaube an die eigene Stärke und die Fähigkeit zur Situationskontrolle und –bewältigung (d. h. also die Selbstwirksamkeitserwartung) des Individuums die wiederholte erfolgreiche Bewältigung einer als schwierig und anstrengend empfundenen aeroben Ausdauerleistung langfristig zu einer Verminderung von Stress führt. Durch die Erfahrung, beim Sporttreiben die eigene Trägheit überwinden zu können und leistungsfähiger zu werden, ruft ein Gefühl der Kompetenz hervor, welches sich auf das globale Selbstkonzept auswirkt.

Die *Körperwahrnehmungshypothese* geht davon aus, dass durch den Sport neben der Leistungsfähigkeit auch positive körperliche Veränderungen eintreten, was positive Effekte auf das Körpererleben und damit auch auf das Selbstkonzept haben kann.

Im *zweidimensionalen Aktivierungsmodell* werden physiologische und psychologische Wirkmechanismen dahingehend kombiniert, dass Sport die energetische (physische) Aktivierung steigert und damit das (psychische) Spannungsempfinden reduziert.

Zudem sollten auch *unspezifische Effekte* berücksichtigt werden. So könnten z. B. auch die allgemeinen Begleitumstände, unter denen eine positive Wirksamkeit von Sport beobachtet wurde, eine Veränderung der Befindlichkeit bewirkt haben (Placeboeffekt). Teilweise könnte die sportliche Betätigung durch eine andere Aktivität ersetzt werden, solange sie die Erwartungen der handelnden Person erfüllt. Auch die Interaktion mit Mitsportlern oder die Aufmerksamkeit der Übungsleiter kann eine Wohlbefindenssteigerung bewirken. Nicht zuletzt ist zu bemerken, dass Fitness (als Synonym für Sport) als sozial erstrebenswerte Eigenschaft angesehen wird und ebenso wie das heutige Schönheitsideal (welches durch Sport erreicht werden kann) häufig Anlass ist, überhaupt Sport zu betreiben. Aber auch die Suche nach Abenteuer und Nervenkitzel kann Menschen dazu bringen, immer extremere Sportarten auszuüben. Werden die angestrebten Ziele (z. B. Fitness, Schlankheit, muskulöser Körper, Gefahrenbewältigung) erreicht, kann dies Auswirkungen auf die Psyche haben.

Wie bereits mehrfach erwähnt, geht die Mehrzahl der aufgeführten Hypothesen von aeroben Ausdauersportarten aus, z. T. scheinen sie sogar nur für Leistungssport bzw. für einen sportlich höher ambitionierten Personenkreis Gültigkeit zu besitzen. So ist fraglich, ob der Zustand des „flow“ überhaupt bei freizeitsportlich betriebenen Ausdauerleistungen auftritt und auch die Ausschüttung von Endorphinen ist vermutlich an länger andauernde, intensivere Belastungen geknüpft.¹²⁹

Nur wenige Erklärungsansätze könnten (z. T. mit Einschränkungen) auch auf den Kraftsport übertragen werden, so z. B. die Hypothese der Kontrollüberzeugungen, die Körperwahrnehmungshypothese, die Ablenkungshypothese, das zweidimensionale Aktivierungsmodell sowie ein Teil der unspezifischen Effekte.

¹²⁹ Vgl. u. a. SCHLICHT (1994, 13ff) und ABELE/BREHM/GALL (1991,290).

6 **METHODIK**

6.1 **TRAININGSBEDINGUNGEN UND TRAININGSGRUPPEN**

Bei der Planung und Durchführung des Krafttrainings waren verschiedene Punkte zu berücksichtigen. So sollten Trainingsmethoden zum Einsatz kommen, die eine hinreichende Parameterauslenkung sowohl bezüglich der Bestimmung von Kraft, Leistung und Arbeit als auch hinsichtlich der biochemischen Parameter Myoglobin und H-FABP erwarten ließen und die zudem für Patienten mit geschädigten Bändern, Gelenken o. ä. praktikierbar sein mussten. Die Trainingsmethoden sollten des Weiteren bestimmbare Leistungszunahmen im Bereich der Maximalkraft unter Ausschluss traumatischer Muskelschädigungen gewährleisten. Die Durchführung des Trainings sollte zudem für die Probanden/Patienten einfach und transparent gestaltet sein, um eine möglichst optimale und motivierte Mitarbeit zu erreichen.

Da die Pilotstudie das Ziel hatte, eine grundsätzliche Eignung der Parameter Myoglobin und H-FABP zur Diagnostik und Steuerung eines optimalen Krafttrainings zu überprüfen, wurden mehrere verschiedene 'klassische' Trainingsmethoden zum Aufbau von Maximalkraft und Kraftausdauer gewählt. Dies sollte eine möglichst große Abdeckung bei den Einsatzmöglichkeiten gewährleisten, hatte jedoch zur Folge, dass die Gruppengrößen relativ klein ausfielen.

Aus logistischen und verfahrenstechnischen Gründen (z. B. in Hinblick auf die Gewährleistung einer sterilen Blut- (und Urin-)abnahme vor und nach jedem Training) wurden die zur Verfügung stehenden Geräte im REHA-Zentrum "Rainer Junge" sowie im Sportinstitut der Universität Göttingen genutzt.

6.1.1 **Probanden und Trainingsgruppen**

Als Probanden stellten sich zwanzig gesunde Männer und Frauen im Alter zwischen 25 und 35 Jahren sowie sechs PatientInnen im Alter zwischen 19 und 43 Jahren freiwillig zur Verfügung. Um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen, hatten die Probanden verschiedene Kriterien zu erfüllen: Die Teilnehmer waren alle europäischer Herkunft (wichtig in Bezug auf die Myoglobinkonzentration; vgl. Kap. 4.2), nahmen an keinem anderen Sportprogramm teil bzw. verrichteten keine schweren körperlichen Arbeiten und hatten keine Nierenfunktionsstörungen, neuromuskulären Erkrankungen oder Suchtkrankheiten. Die weiblichen Probanden waren weder schwanger noch in der Stillzeit.

Es wurden insgesamt fünf verschiedene Gruppen (G1 bis G5) gebildet.

Bei den gesunden Probanden handelte es sich um Studenten, die willkürlich nach dem Zufallsprinzip in vier Trainingsgruppen a´ fünf Teilnehmern eingeteilt wurden (Gruppen G1 bis G4). Alle Probanden waren im Kraftsport untrainiert. Die Gruppe G5 setzte sich aus Patienten in der Anschlussheilbehandlung zusammen, die im REHA-Zentrum nach Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten im Rahmen einer Erweiterten Ambulanten Physiotherapie (EAP) ein Muskelaufbautraining absolvierten.

Die Gruppen G1 bis G3 trainierten alle an überwiegend "gesundheitsorientiert" ausgewählten Geräten im REHA-Zentrum nach unterschiedlichen Trainingsmethoden überwiegend die Bein- und Rückenmuskulatur. Die Gruppe G4 trainierte im Kraftraum der Universität Göttingen alle Hauptmuskelgruppen.

Insgesamt vier Probanden konnten die Studie aus Krankheitsgründen nicht beenden und schieden frühzeitig aus, so dass sich zwei der vier Gruppen auf jeweils drei Teilnehmer reduzierten. Einer der Patienten wurde im Verlauf der Studie nochmals operiert, so dass kein kontinuierlicher Trainingsablauf möglich war. Aus diesem Grund liegen nur von fünf Probanden der Gruppe G5 Trainingsdaten vor.

Gruppe	n (m/w)	Ø Alter	Ø Gewicht [kg]	Ø Größe [cm]
Gruppe G1	5 (2m/3w)	30,6	70,2	175,0
Gruppe G2	3 (1m/2w)	30,6	66,0	170,7
Gruppe G3	3 (2m/1w)	25,7	72,0	178,6
Gruppe G4	5 (5m)	26,8	81,1	184,0
Gruppe G5	5 (3m/2w)	31,4	79,8	178,2

Tab. 6.1: Die anthropometrischen Mittelwerte der einzelnen Trainingsgruppen.

6.1.2 Allgemeine Versuchsbedingungen

Die gesunden Probanden trainierten über 6 Wochen mit jeweils unterschiedlichen Trainingsintensitäten (Gruppe G1, G2 und G3) bzw. mit anderen Krafttrainingsgeräten und -übungen (Gruppe G4). Die Probanden der Gruppen G1 bis G3 trainierten 2 mal wöchentlich über eine Zeitdauer von ca. 1½ Std. zur jeweils gleichen Tageszeit im REHA-Zentrum. Das Training begann stets mit einem 10-minütigem Aufwärmprogramm auf einem einfachen Fahrradergometer mit individuell eingestellter Belastungshöhe. An die Aufwärmphase schloss sich in der Regel zunächst das Training an dem Isokinetikgerät an, gefolgt von den Übungen an den

Sequenztrainingsgeräten.¹³⁰ Zum Abwärmen sollten die Probanden am Ende nochmals 10 Minuten locker radfahren. Aufgrund der logistischen Gegebenheiten fand das Training noch während des normalen Praxisbetriebs statt, so dass sich die Probanden nach den jeweils gegebenen Möglichkeiten richten mussten. Da die Patienten des REHA-Zentrums stets Vorrang hatten, war eine strenge Standardisierung des Trainingsablaufs für die Probanden sowohl in der Reihenfolge der Geräte als auch in der Einhaltung der Pausenzeiten zwischen den einzelnen Übungen nicht immer möglich.

Die Teilnehmer der Gruppe G4 trainierten 3 mal wöchentlich für ca. 2 Std. im Kraftraum des Sportinstituts der Universität Göttingen. Da das Training einen hohen Zeitaufwand für die Probanden darstellte, war ihnen die Auswahl der Trainingstage und Tageszeit freigestellt. Im Gegensatz zu den Probanden der Gruppen G1 bis G3 absolvierte die Gruppe G4 ein umfassenderes Krafttraining, bei dem neben der Bein- und Rückenmuskulatur auch die Brustmuskulatur beansprucht wurde. Anstelle des Radfahrens fand das Aufwärmen jeweils direkt an den Geräten statt. Dazu wurden an jedem Gerät zuerst je 2 Sätze mit leichtem Gewicht (30-40% Fmax) absolviert, bevor die eigentlichen Trainingsgewichte aufgelegt wurden. Nach Möglichkeit sollte eine vorgegebene Reihenfolge im Ablauf der Geräte eingehalten werden, da der Kraftraum jedoch z. T. sehr stark besucht war, ergaben sich für die Probanden ähnliche Schwierigkeiten wie im REHA-Zentrum, d. h. die Reihenfolge der Geräte wie auch die vorgegebenen Pausenzeiten konnten nicht immer eingehalten werden.

Die Patienten (Gruppe G5) besuchten das REHA-Zentrum in der Regel 3 mal in der Woche und trainierten an den für sie je nach Verletzung angemessenen Trainingsgeräten.

Je nach gesundheitlichem Befund wurden einzelne Übungen im Verlauf der Behandlung hinzugenommen oder auch ausgesetzt, so dass ein kontinuierliches Training wie bei den Gruppen 1-4 häufig nicht gegeben war. Die Behandlung im REHA-Zentrum beinhaltete neben dem muskulären Aufbautraining zudem auch Krankengymnastik, Massage und Bewegungsbäder. Durch den individuellen Behandlungsplan konnte es vorkommen, dass das Krafttraining z. T. erst nach der einen oder anderen Anwendung stattfand. Dies hatte zur Folge, dass die Patienten ggf. mit jeweils unterschiedlichen das Krafttraining absolvierten. .¹³¹

¹³⁰ Eine Beschreibung der Geräte erfolgt in Kap. 6.1.3.

¹³¹ Die für die jeweiligen Gruppen beschriebenen, im Verlauf der Studie aufgetretenen Probleme bei der Durchführung des Krafttrainings sind bei der Auswertung der Ergebnisse sowie in Hinblick auf optimale methodische Bedingungen zu berücksichtigen (siehe Kap. 6.6 und 7.)

6.1.3 Trainingsmittel

Gruppe G1 bis G3 sowie G5

Die Teilnehmer der Gruppen G1, G2 und G3 und G5 trainierten im REHA-Zentrum Rainer Junge an den Sequenztrainingsgeräten DIP, LATZUG (Reha), BUTTERFLY, BEINPRESSE (Reha) sowie auf einem Isokinetikgerät. An dem Isokinetikgerät wurde allerdings nur von 2 der 6 Patienten trainiert. Die Trainingsmittel, die jeweiligen Übungsausführungen sowie die beanspruchten Hauptmuskelgruppen werden nachfolgend kurz vorgestellt und beschrieben.¹³²

Isokinetik

Sowohl die Kraftmessungen als auch das Training wurden an dem isokinetischen Multigelenksystem "Lido classic" der Fa. LOREDAN BIOMEDICAL INC., Davis (California) durchgeführt.¹³³

Bei den Teilnehmern der Gruppen G1 bis G3 wurde mit der isokinetischen konzentrischen Arbeitsweise für die Knieextension und -flexion für beide Seiten im Geschwindigkeitsbereich von 60°/s und 120°/s für die Maximalkrafttests im Vor- und Nachtest gearbeitet; das Training fand konstant bei einer Winkelgeschwindigkeit von 120°/s statt.

Das Gerät ist mit einem "Sliding-Cuff-System" ausgestattet, welches ein freies Gleiten der distalen Extremitätenbefestigung parallel zum Dreharm ermöglicht. Die jeweilige Veränderung der Dreharmlänge wird messtechnisch erfaßt und von dem IBM AT-kompatiblen Computersystem sowie der Software "Iso-Kin 5.0" entsprechend verarbeitet.

Das isokinetische Training fand in der Regel zu Beginn des Krafttrainings im Anschluß an ein 10minütiges Aufwärmprogramm auf einem Fahrradergometer statt.

¹³² Die Abbildungen zeigen die Sitzpositionen bzw. die Übungsausführung an den verschiedenen Geräten. Es handelt sich dabei nicht exakt um die in der Studie benutzten, sondern in Aufbau und Funktion entsprechende Geräte (entnommen aus BOECKH-BEHRENS/BUSKIES (2001)).

¹³³ Isokinetisches Training stellt eine spezielle Form des dynamischen Trainings dar und findet vor allem in der Rehabilitation Verwendung (vgl. auch die Erläuterungen im Anhang (Begriffsbestimmungen)).

Isokinetikstuhl



Ausgangsposition: Der Proband sitzt aufrecht auf einem leicht nach hinten abfallenden Sitz (Sitzfläche - Rückenlehne mit 90° Winkel), die Unterschenkel hängen nach unten, wobei etwas oberhalb des Knöchels das Ende des Dreharmes fixiert wird. Die Knie werden parallel zur Drehachse des Geräts ausgerichtet (Drehachse auf Höhe des tibiofemuralen Kniegelenkspalts).

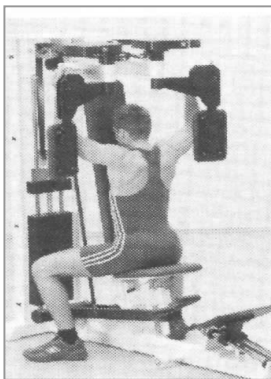
Bewegung: Maximal mögliche Beugung und Streckung im Kniegelenk.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- A: Streckung: - M. quadriceps (hauptsächlich die Mm. vasti)
 B: Beugung: - M. semimembranosus
 - M. semitendinosus
 - M. biceps femoris mit caput longum und caput breve
 - M. gracilis
 - M. sartorius; M. popliteus; M. gastrocnemius

Sequenztrainingsgeräte

Butterfly (rückwärts):

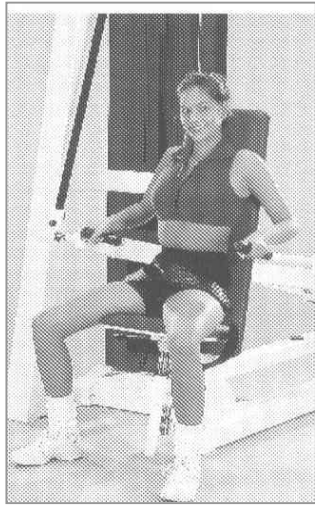


Ausgangsposition: Der Proband sitzt in aufrechter Haltung an dem Gerät und legt die Arme etwa in Höhe der Brust auf die Armstützen. Die Unterarme sind gehoben und die Hände zeigen aufwärts.

Bewegung: Die Arme werden seitlich so weit nach hinten geführt, bis sie etwa parallel zum Körper sind (Bewegungsamplitude ca. 90°), wobei die Unterarme gleichbleibend aufwärts gerichtet sind.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- Schulteraußenrotation: - M. infraspinatus
 - M. teres minor
 - Pars spinalis des M. deltoideus
 Schulterretraktion: - M. trapezius (pars ascendens und transversus)
 - Mm. rhomboidei
 - M. latissimus dorsi

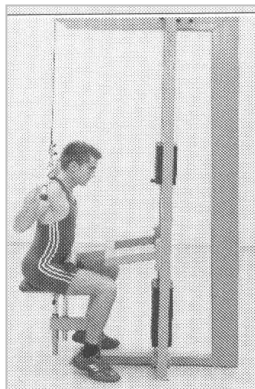
Dip:

Ausgangsposition: Der Proband sitzt in aufrechter Haltung (Winkel Ober-/Unterschenkel ca. 110 °), die Hände umfassen die seitlich sich etwa auf Brusthöhe befindlichen Stangen, wobei die Ellenbogen hinten und die Schultern möglichst entspannt unten bleiben.

Bewegung: Die Arme werden nach unten gestreckt und danach wieder in die Ausgangsposition zurückgeführt (Die Bewegung wird bei einer Armbeuge von ca. 80° gestoppt, da ab hier die Schultern nicht mehr entspannt unten gehalten werden können). Als Orientierung für das richtige Bewegungsmaß wurde eine äußere Hilfsstange benutzt.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- | | |
|------------------------|---|
| Schulteranteversion: | - M. deltoideus (pars clavicularis) |
| | - M. latissimus dorsi |
| | - M. pectoralis major |
| | - M. coracobrachialis |
| | - M. biceps brachii (caput longum) |
| Beweg. Scapula dorsal: | - M. trapezius (pars ascendens und transversus) |
| | - Mm. rhomboidei |
| | - M. latissimus dorsi |
| Beweg. Scapula caudal: | - M. trapezius (pars ascendens) |
| | - M. serratus anterior |
| | - M. subclavius |
| | - M. latissimus dorsi |
| Ellenbogenextension: | - M. triceps (alle drei Köpfe) |

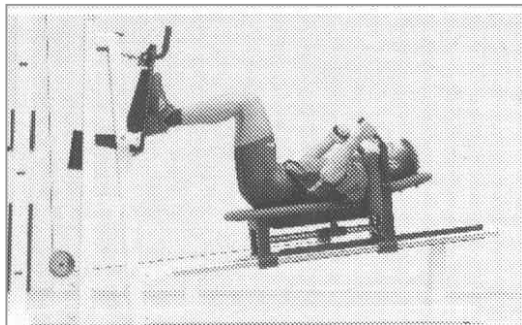
Latzug (Reha):

Ausgangsposition: Der Proband sitzt in aufrechter Haltung (Winkel Ober-/Unterschenkel ca. 110 °), die Hände umfassen im Ristgriff die sich rechts und links oberhalb des Kopfes befindlichen Griffe, wobei die Arme annähernd gestreckt sind.

Bewegung: Die Arme ziehen die Stange bis fast auf Schulterhöhe (bzw. bis zum Geräteanschlag) herunter, die Arme werden dabei leicht nach hinten geführt .

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- Schulterretraktion: - M. trapezius (pars ascendens und transversus)
 - Mm. rhomboidei
 - M. latissimus dorsi
- Schulterdepression: - M. latissimus dorsi
 - M. trapezius (pars ascendens)
 - M. serratus anterior
 - M. subclavius
- Schulteradduktion: - M. teres major
 - M. deltoideus (pars clavicularis und spinalis)
 - M. coracobrachialis
 - M. biceps brachii (caput breve)
- Schulterretroversion: - M. teres major
 - M. latissimus dorsi
 - M. pectoralis major

Beinpresse (Reha):

Ausgangsposition: Der Proband liegt in Rückenlage waagrecht auf einem auf Rollen laufenden Schlitten, hebt die Beine an und stellt die Füße hüftbreit auf eine leicht geneigte Plattform. Sowohl der Hüftwinkel als auch der Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel beträgt 90°.

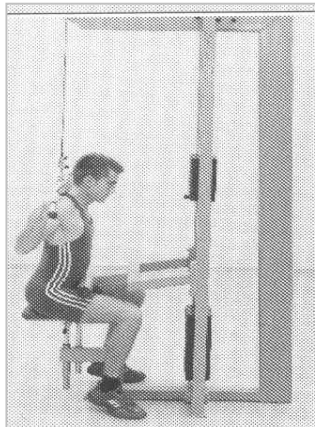
Bewegung: Die Beine werden fast vollständig gestreckt.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- M. quadriceps femoris
- M. gluteus maximus
- M. biceps femoris (caput longum)
- M. triceps surae
- M. tibialis posterior

Gruppe G4

Die Gruppe G4 trainierte im Krafraum der Universität Göttingen an den Sequenztrainingsgeräten BEINCURL, BEINPRESSE (IfS; mit 45° - Winkel der Hüfte), LATZUG (IfS) und RUDERN der Firma ASS sowie mit Langhantel und Scheibengewichten BANKDRÜCKEN auf der FLACHBANK und SCHRÄGBANK.

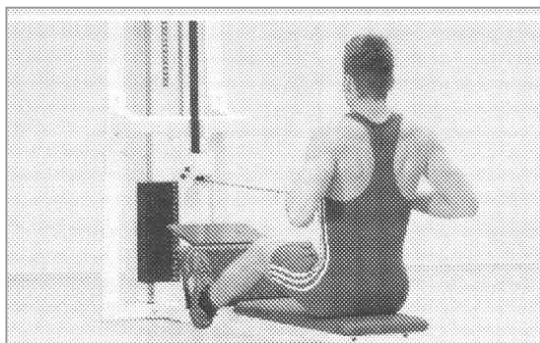
Latzug (IfS):

Ausgangsposition: Der Proband sitzt in aufrechter Haltung (Winkel Ober-/Unterschenkel ca. 90 °), die Hände umfassen oberhalb des Kopfes im Ristgriff etwas mehr als schulterbreit die Stange (Punkte sind festgelegt durch jeweils leichten Knick in der Stange), wobei die Arme annähernd gestreckt sind.

Bewegung: Die Arme ziehen die Stange hinter dem Kopf bis auf den Nacken herunter.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- Schulterretraktion: - M. trapezius (pars ascendens und transversus)
 - Mm. rhomboidei
 - M. latissimus dorsi
- Schulterdepression: - M. latissimus dorsi
 - M. trapezius (pars ascendens)
 - M. serratus anterior
 - M. subclavius
- Schulteradduktion: - M. teres major
 - M. deltoideus (pars clavicular und spinalis)
 - M. coracobrachialis
 - M. biceps brachii (caput breve)
- Schulterretroversion: - M. teres major
 - M. latissimus dorsi
 - M. pectoralis major

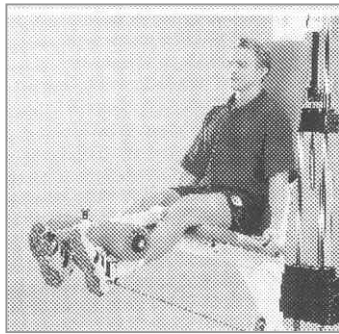
Rudern:

Ausgangsposition: Der Proband sitzt in aufrechter Haltung (Winkel Ober-/Unterschenkel ca. 90 °) in einer Position, die es ihm erlaubt, mit fixiertem Bauch die Griffe des Zugapparates mit gestreckten Armen umfassen zu können.

Bewegung: Die Arme ziehen die Rudergriffe in Richtung Körper, indem die Arme gewinkelt nach hinten geführt werden.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- Schulterretraktion: - M. latissimus dorsi
 - M. deltoideus (pars spinalis)
 - M. teres major
 - M. pectoralis major
- Schulterbew. Dorsal: - M. trapezius (pars ascendens und transversus)
 - M. latissimus dorsi
 - Mm. rhomboidei
 - M. biceps brachii
 - M. brachialis
 - M. brachioradialis

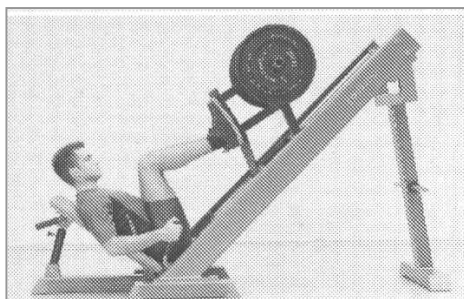
Beinstrecker:

Ausgangsposition: Der Proband sitzt aufrecht auf einem leicht nach hinten abfallenden Sitz (Sitzfläche - Rückenlehne mit 90° Winkel), die Unterschenkel hängen nach unten, wobei an deren Vorderseite etwas oberhalb des Knöchels das Ende des Dreharmes der Last fixiert wird. Die Knie werden möglichst parallel zur Drehachse der zu bewegenden Lasten ausgerichtet.

Bewegung: Die Beine werden annähernd in die volle Streckung nach oben gebracht.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- M. quadriceps femoris (hauptsächlich die Mm. vasti)

Beinpresse (IfS):

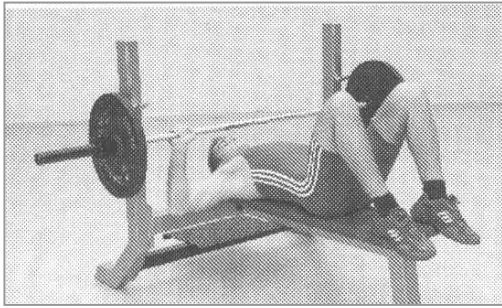
Ausgangsposition: Der Proband sitzt auf einer um ca. 40 - 45° geneigten Fläche, die mit der Rückenlehne einen annähernd rechten Winkel bildet. Die Füße werden hüftbreit auf eine senkrecht zur Sitzfläche verlaufende Platte gestellt, wobei der Kniewinkel 90° beträgt und die Hüfte sehr stark gebeugt ist. Fußplatte und

Gewichte werden auf einer schiefen Ebene (Neigung 45°) nach oben gestemmt.

Bewegung: Die Beine werden fast vollständig nach oben gestreckt.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- M. quadriceps femoris
- M. gluteus maximus
- M. biceps femoris (caput longum)
- M. triceps surae

Flachbank :

Ausgangsposition: Der Proband liegt in Rückenlage flach auf der Bank, die Beine werden gehoben (Hüft- und Kniewinkel etwa 90°), die Füße sind gekreuzt. Die Scheibenhantel ruht auf zwei Ständern, wobei sich die Schultern des Probanden unter der Stange befinden. Der Proband umfaßt

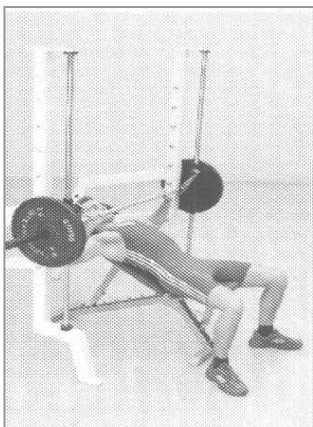
die Stange etwa schulterbreit (Markierungen auf der Stange) im Ristgriff.

Bewegung: Die Hantel wird senkrecht bis zur Hochhalte nach oben geführt und wieder zur Brust herab gesenkt.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- M. pectoralis major
- Mm. deltoideus (pars clavicularis)
- M. triceps brachii
- M. serratus anterior
- M. pectoralis minor

Anteversion: - M. biceps brachii (caput longum)
- M. coracobrachialis

Schrägbank:

Ausgangsposition: Der Proband liegt in Rückenlage auf der mit ca. 40° zum Fußende geneigten Bank, die Beine werden auf den Boden bzw. auf eine Kiste aufgestellt, die Schultern des Probanden befinden sich unter der Stange. Der Proband umfaßt die Stange etwa schulterbreit (Markierungen auf der Stange) im Ristgriff.

Bewegung: Die Hantel wird bis zur Hochhalte nach oben geführt und wieder zur Brust herab gesenkt.

Beanspruchte Hauptmuskelgruppen:

- M. pectoralis major (obere Anteile, weniger stark als bei der Flachbank)
- Mm. deltoideus (pars clavicularis und acromialis; stärker als bei der Flachbank)
 - M. triceps brachii
 - M. serratus anterior
 - M. pectoralis minor

Anteversion: - M. biceps brachii (caput longum)
- M. coracobrachialis

6.1.4 Trainingsmethoden

Die Probanden der Gruppen G1 bis G4 wurden mit jeweils unterschiedlichen Methoden in den Bereichen Maximalkraft und Kraftausdauer trainiert. Das Training mit den Patienten der Gruppe G5 wurde individuell für die jeweilige Person in Hinblick auf die Verletzungsart, dem allgemeinen körperlichen Zustand sowie dem sich ändernden aktuellen Heilungsprozeß festgelegt, wobei sich das Training nach Möglichkeit an Richtwerten orientierte (siehe Tabelle 5.2).¹³⁴ In wenigen Fällen führten Verschlechterungen im verletzten Gelenk zu einer Reduzierung des Trainings bis hin zu einer gänzlichen Pause.

In Anlehnung an MARTIN und SCHMIDTBLEICHER trainierten die Probanden nach folgenden Methoden :¹³⁵

	Gruppe G1	Gruppe G2	Gruppe G3	Gruppe G4	Gruppe G5
Methode	Extensive Intervalle	Bodybuilding- Methode	Standard- Methode	Bodybuilding- Methode	variabel
Intensität (%Fmax)	50%	65%	85%	60%	ca. 50-70%
Wiederholungen	25	15	8	12	15-20
Serien	4	4	4	5	4
Pause	30 - 60 s.	≥ 2 min.	2-4 min.	≥ 2 min.	1-2 min.
Tempo	zügig	Zügig	Langsam	Zügig	zügig
Einheiten/Woche	2	2	2	3	2 bis 3
Führendes Trainingsziel	Kraftausdauer	Maximalkraft- Ausdauer	Maximalkraft (Hypertrophie)	Maximalkraft- Ausdauer	Maximalkraft- ausdauer

Tab. 6.2: Trainingsmethoden der verschiedenen Probandengruppen.

Die Belastung wurde über jeweils zwei Wochen konstant gehalten. Nach Ablauf dieser Mikrozyklen wurde die Maximalkraft neu bestimmt und die individuellen Trainingspläne ggf. an die gestiegene Kraftleistung angepasst; d. h. bei höherer Maximalkraftleistung wurden die Gewichte dergestalt erhöht, dass die gewünschte Trainingsintensität wieder erreicht wurde.

¹³⁴ Das muskuläre Aufbaustraining in der orthopädischen Rehabilitation folgt i. d. R. verschiedenen Entwicklungsstufen (vgl. EINSINGBACH; 1992, 7ff) und hat die Wiederherstellung der bestmöglichen muskulären Funktionen im Bereich der konditionellen Fähigkeiten (z. B. Kraft, Ausdauer) sowie der Funktion der beteiligten Strukturen (Bänder, Sehnen etc.) zum Ziel, wobei die Toleranzgrenze über dem täglichen Bedarf der Patienten liegen sollte. Neben einem Wiederaufrufen der alltags- und sportmotorischen Bewegungsmuster wird eine Verbesserung der Koordination sowie der allgemeinen Körperwahrnehmung angestrebt. Nicht zuletzt dient das Training der Prävention neuer Verletzungen oder Dysbalancen.

¹³⁵ Vgl. MARTIN (1993, 128ff) und SCHMIDTBLEICHER (1994).

Da der Großteil der verwendeten Sequenztrainingsgeräte keine feinabgestuften Gewichte besitzt (i. d. R. sind es 2,5 oder 5 kg-Gewichte, bei der Beinpresse sogar 10 kg-Platten), wurden die anhand der Maximalkrafttests ermittelten prozentualen Trainingsintensitäten an die jeweils möglichen Gewichte angepasst, d.h. die jeweiligen Trainingsintensitäten konnten im Extremfall um bis zu $\pm 5\%$ von den oben aufgeführten Intensitäten abweichen.

Mit Ausnahme der Gruppe G3 sollten alle Gruppen die Wiederholungen in einem möglichst gleichbleibend zügigen Tempo durchführen, wobei den Probanden selbst entscheiden sollten, was für sie ein zügiges Tempo darstellte. Die Überlegung, das Tempo für alle mittels eines geeichten Metronomtaktes zu standardisieren, erwies sich in Vorversuchen als nur mäßig geeignet.¹³⁶

Die Probanden der Gruppe G3 sollten die Bewegungen langsam ausführen und wurden angehalten, für den Hinweg und den Rückweg jeweils bis 3 zu zählen.

6.2 BESTIMMUNG DER PARAMETER MAXIMALKRAFT, ARBEIT UND LEISTUNG

6.2.1 Bestimmung der Maximalkraft

Vor Beginn des sechswöchigen Trainings wurde mit den Probanden an einem Extratermin ein Vortest zur Bestimmung des momentanen Kraftvermögens durchgeführt. Hierzu wurden die Probanden nach einer ca. 10-minütigen Aufwärmphase zunächst mit den Geräten vertraut gemacht. Danach erfolgte an den jeweiligen Geräten die Maximalkraftbestimmung. Die Reihenfolge der Geräte wurde dabei notiert, um den gleichen Ablauf für die Folgeuntersuchungen festlegen zu können.

Bei den Probanden der Gruppe G5 erfolgte die Auswahl der Geräte nach gesundheitlichem Befund, so dass z. T. einige Geräte gar nicht oder erst im späteren Verlauf des Trainings eingesetzt wurden.

Bei den Überlegungen hinsichtlich der Maximalkraftbestimmung der Patienten war ihr gesundheitliche Statuts zu berücksichtigen, aufgrund dessen die im Bereich des "normalen" Krafttrainings üblichen Tests nicht durchführbar waren. Somit wurde auf die oft in der Rehabilitation eingesetzte Maximalkraftbestimmung mittels des Last-Wiederholungs-Verhältnisses (LWV) zurückgegriffen. Bei den gesunden Probanden bestanden dagegen keine gesundheitlichen Bedenken bezüglich einer Maximalkraftbestimmung mit sehr hohen Gewichten, so dass bei ihnen das Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM) zur Bestimmung von F_{max} herangezogen wurde. Bei diesem Test

¹³⁶ Vgl. Kap. 6.6.

werden die Lasten kontinuierlich bis zu dem Punkt gesteigert, an dem die Bewegung gerade noch einmal sauber und in vollem Umfang durchgeführt werden kann.

Ein Grund dafür, dass somit zwei verschiedene Maximalkrafttests zum Einsatz kamen lag darin, dass das LWV mit verschiedenen Problemen behaftet ist und nur bedingt zur Bestimmung von F_{max} geeignet erscheint.¹³⁷

Isokinetik

Sowohl die Kraftmessungen als auch das Training wurden an dem isokinetischem Multigelenksystem "Lido classic" der Fa. LOREDAN BIOMEDICAL INC., Davis (California) durchgeführt. Die geschwindigkeitsspezifische Bestimmung der maximalen Drehmomente erfolgte mit den Geschwindigkeiten von 120°/s und 60°/s im Vor- und Nachtest. Zudem wurde nach jeweils 2 Wochen ein Maximalkrafttest bei 120°/s durchgeführt sowie die aktuelle Tagesform bei ebenfalls 120°/s neu bestimmt und für das weitere Training herangezogen.

Neben dem maximalen Drehmoment wird zudem eine Vielzahl weiterer Daten vom Computer berechnet, so u. a. die durchschnittliche Leistung und Arbeit sowie Leistung und Arbeit im Verhältnis zum Körpergewicht.

Sequenztrainingsgeräte

Die Maximalkraftbestimmung an den Sequenztrainingsgeräten wurde in sämtlichen Gruppen jeweils alle 2 Wochen durchgeführt. Die Bestimmungen erfolgten an allen Geräten (am gleichen Tag in einem Zeitraum von ca. 60-90 min.), wobei die Reihenfolge der Geräte im Vorfeld festgelegt und bei jedem Test eingehalten wurde.

Die Kraftbestimmungen dienten sowohl zur Feststellung der Maximalkraft als auch zur Festlegung der Trainingsvorgaben (in % der F_{max}) für die jeweiligen Trainingsgeräte. Die Sitz- bzw. Liegepositionen wurden in allen Gruppen für jeden Probanden an jedem Gerät individuell festgelegt und sowohl im Training als auch für die Tests gleichbleibend eingehalten.

Ablauf A (Gruppen G1 – G3):

Bei den Probanden der Gruppen G1 bis G3 erfolgte die Kraftbestimmung beginnend mit einem relativ leichtem Gewicht (bei den Folgetests beginnend bei ca. 50% der vorherigen Maximalleistung), wobei die Gewichtssteigerungen geräteabhängig in den jeweils möglichen kleinsten Schritten vorgenommen wurden. Für alle Geräte gleichbleibend war die Anweisung, jedes neue Gewicht zunächst zweimal, später nur noch

einmal zu bewegen. Zudem wurde jeweils eine Pausenzeit zwischen den einzelnen Gewichten von 2 min. eingehalten. Registriert wurde das Gewicht, welches gerade noch einmal sauber und mit vollem Umfang bewegt werden konnte. Bei jedem Gewicht erfolgte zudem eine persönliche Klassifizierung der Leistung auf der Grundlage der RPE-Skala.

Ablauf B (Gruppe G4):

Bei der Gruppe 4 erfolgte die Kraftmessung beginnend mit einem relativ leichtem Gewicht (bzw. bei den Folgeuntersuchungen mit dem alten Trainingsgewicht ($\pm 60\%$ Fmax mit 6 Wdh.) in 2-3 größeren Gewichtssteigerungen bis zum vorherigen Maximalgewicht (mit jeweils 1-2 Wdh.). Danach erfolgte die Gewichtssteigerung ebenfalls geräteabhängig in den jeweils möglichen kleinsten Schritten mit jeweils einer Wiederholung. Die Pausenzeit zwischen den einzelnen Schritten betrug 2 min. Registriert wurde wiederum das Gewicht, welches gerade noch einmal sauber und mit vollem Umfang bewegt werden konnte.

Ablauf C (Gruppe G5):

Da die Probanden der Gruppe G5 aufgrund ihrer Verletzungen nicht im Bereich der Maximalkraft belastbar waren, wurden Kraftmessungen mittels submaximaler Lasten (nach SCHMIDTBLEICHER) durchgeführt. Dazu wurden die Probanden angewiesen, ein submaximales Gewicht (in der Regel ein Gewicht, das ca. 20 % über dem letzten Trainingsgewicht lag) so lange zu bewegen, bis die Ausübung nicht mehr möglich war. Mittels der jeweils geleisteten Wiederholungszahl wurde dann auf Grundlage der Wiederholungspyramide der Wert für die Maximalkraft bestimmt, indem der jeweils geleisteten Wiederholungszahl ein prozentualer Wert von Fmax zugeordnet wurde (vgl. Abb. 4.5 in Kap. 4.1.3).

Vergleich der Kraftmessungen

Um einen Hinweis zu bekommen, inwieweit die beiden Maximalkraftbestimmungen vergleichbar sind bzw. ob und um wieviel sie voneinander abweichen, wurden einige Probanden der Gruppen G1 bis G3 (sowie kraftsporttrainierte Sportstudenten für die Messungen im Sportinstitut) gebeten, sich für Vergleichstests zwischen diesen beiden Kraftbestimmungen sowie für Tests zur Überprüfung der Wiederholungspyramide für die im Reha-Zentrum benutzten Sequenztrainingsgeräte nochmals zur Verfügung zu stellen.

¹³⁷ Siehe Kap.4.1.3.

An den Vergleichstests nahmen 10 Probanden im Reha-Zentrum sowie 8 Probanden im Sportinstitut teil. Die Tests erfolgten an zwei Tagen mit mindestens zwei Tagen Pause dazwischen. An dem ersten Testtag wurde die Maximalkraft mittels des Einer-Wiederholungs-Maximums entsprechend des oben beschriebenen Ablaufs A bestimmt, am zweiten Testtag wurde dann entsprechend die Kraftbestimmung mittels submaximaler Lasten eingesetzt. Die Testgewichte wurden je nach Proband und Gerät unterschiedlich hoch gewählt und lagen zwischen ca. 50 und 95 % der beim ersten Test ermittelten Maximalkraft. Der Versuchsablauf entsprach dabei dem oben beschriebenen Ablauf C; die Reihenfolge der absolvierten Trainingsgeräte war bei beiden Tests gleich.

Ferner wurde im Anschluß an den ersten Teil der Studie (Gruppe G1 bis G3) mit einigen Probanden der Versuch unternommen, die Gültigkeit der Wiederholungspyramide für einige der im REHA-Zentrum benutzten Geräte zu überprüfen.¹³⁸ Insgesamt 8 Probanden stellten sich hierfür nochmals freiwillig zur Verfügung. Sie sollten jeweils pro Gerät in mehreren Schritten verschiedene submaximale Lasten so oft wie möglich bewegen. Um nicht eine Übermüdung der Muskulatur hervorzurufen und damit verfälschte Daten zu bekommen, wurden die Tests auf zwei Tage (mit 1-2 Tagen Pause dazwischen) verteilt, an denen jeweils pro Gerät mit zwei bis drei unterschiedlichen Lasten gearbeitet wurde. Zwischen jeder Laststeigerung wurde eine Pause von 10 min. eingehalten, die Pausenzeit zwischen den einzelnen Geräten betrug mindestens 15 min.

6.2.2 Bestimmung der Parameter Arbeit und Leistung

Isokinetik

Das isokinetische Training auf dem "Lido classic" kann mit Hilfe der Computersoftware "Iso-kin 5.0" exakt gestaltet werden. So wird nach einer vorangestellten Bestimmung des maximalen Drehmoments der Extension und der Flexion der Oberschenkelmuskulatur (Bestimmung der Tagesform jeweils nach 2 Wochen Training) ein Programm erstellt, welches die Trainingsintensitäten, die Anzahl der Wiederholungen und Serien sowie der Pausenzeiten festlegt. Anhand dieser Daten ist die jeweilige Trainingsleistung im Vorfeld festgelegt und kann somit im Training von den Probanden realisiert werden. Während der Bewegung kann der Proband Trainingsziel und eigene Trainingsleistung auf dem Computerbildschirm verfolgen und kontrollieren. Dies ist möglich, indem auf dem Bildschirm die Kraft-Zeit-Verläufe der

¹³⁸ An folgenden Geräten wurden Tests durchgeführt: Dip, Latzug und Butterfly.

Trainingsvorgabe graphisch dargestellt sind und die eigene Kraftrealisation während der Bewegung mittels eines Cursors auf dem Bildschirm nachgezeichnet wird. Der Proband ist angehalten, die vorgegebene Kurve und die eigene Leistungskurve in Deckung zu bringen. Die vorgegebene Kurve entspricht dabei der jeweiligen Trainingsintensität und wird anhand der Maximalwertbestimmung (Tagesformbestimmung) berechnet. Nach jeder Serie erscheint auf dem Monitor eine Auswertung der prozentualen Abweichung vom Trainingsziel. Dieses visuelle Feedback beinhaltet eine erhöhte koordinative Anforderung für die Probanden, da neben der reinen Willensanstrengung des Krafteinsatzes zugleich der Abgleich der Kurven auf dem Bildschirm erfolgen muss. Dies stellte gerade am Anfang für die meisten Probanden ein Problem dar und gelang in der Regel erst nach einiger Eingewöhnungs- und Übungszeit. Nach der ersten Woche waren die Probanden jedoch zumeist in der Lage, die vorgegebene Trainingsleistung mit einer geringen Abweichung (unter $\pm 5\%$) zu absolvieren.

Sequenztrainingsgeräte

Die permanente Leistungsbestimmung während des Trainings an den Sequenztrainingsgeräten ist mit einigen Schwierigkeiten behaftet. So erfordert eine exakte Leistungsbestimmung neben der Festlegung des Arbeitswegs und der Arbeitszeit zudem eine genaue Kraftmessung sowie die Bestimmung des O_2 -Verbrauchs. Diese Vorgaben konnten in dieser Pilotstudie aus praktischen sowie finanziellen Gründen jedoch nicht gänzlich erfüllt werden. Daher wurden Verfahren erprobt, die eine angenäherte Leistungsbestimmung ermöglichen sollten.

Zunächst wurde im Vorfeld des Trainings für jeden Probanden an jedem Gerät der individuelle Arbeitsweg festgelegt. Hierfür wurde das persönliche Bewegungsausmaß bestimmt und anhand von Skalen sowie angebrachten Anschlagsbegrenzungen limitiert. Während des Trainings sollten die Bewegungen im jeweils festgesteckten Rahmen (von Anschlag zu Anschlag) möglichst exakt eingehalten werden. Die Bestimmung der Arbeitszeit erfolgte mittels manueller Zeitmessung für die jeweilige gesamte Wiederholungszahl. Die Gesamtzeit wurde dann für jede Serie auf die Einzelbewegung umgerechnet.

Problematischer hingegen erschien die Bestimmung der für jede Bewegung bzw. die im Verlauf einer Serie aufgewendeten Arbeit. Wird hierfür die Gleichung $\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$ herangezogen, so muß - unter Voraussetzung einer gleichbleibenden Bewegungsgeschwindigkeit - die Beschleunigung mit dem Überwinden der Schwerkraft gleichgesetzt werden; d. h. es gilt die Formel

$$\mathbf{F = m \cdot g}$$

mit: F = Gewichtskraft der Trainingsgewichte; m = Trainingsgewicht;
 g = Schwerebeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$

Die Arbeit errechnet sich dann mittels der Hubarbeit aus der Gleichung:

$$\mathbf{W = m \cdot g \cdot h}$$

mit: W = Arbeit; m = Trainingsgewicht; g = Schwerebeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$
 h = Arbeitsweg, um den die Gewichte gehoben werden.

Rein physikalisch betrachtet ergibt sich das Problem, dass beim Zurückkehren in die Ausgangsposition negative Hubarbeit geleistet wird, d. h. die Arbeit wäre damit gleich Null.

Diese Gleichung ist jedoch nicht einfach auf die physiologische Arbeit übertragbar. Während bei positiver Hubarbeit eine konzentrisch positive Arbeitsweise vorliegt, wird bei dem Zurückkehren in die Ausgangsposition (negative Hubarbeit) der Schwerkraft "gegenhaltend" begegnet (exzentrisch negative Arbeit), wobei die Muskeln dementsprechend ebenfalls mehr oder weniger stark innerviert werden.

Da ein Körper im biologischem Sinne stets dann Arbeit verrichtet, wenn infolge muskulärer Beanspruchung ein Sauerstoffmehrverbrauch vorliegt, stellt sich demnach die Frage nach dem Sauerstoffverbrauch sowohl während der positiven als auch der negativen Hubarbeit der Gesamtbewegung. Aus der Differenz der beiden Werte könnten dann Rückschlüsse auf die geleistete Arbeit für die beiden Arbeitsformen gezogen werden. Dies konnte in vorliegender Arbeit aufgrund finanzieller und logistischer Probleme leider nicht realisiert werden.

Um angenäherte Vergleichswerte zu erhalten, wurde jeweils nur die 'positive' Hubarbeit für die Leistungsbestimmung herangezogen.

Für die Berechnung der Leistung P gilt dann:

$$\mathbf{P = W / t}$$

mit: P = Leistung ; W = Arbeit; t = Zeit, die für die verrichtete Arbeit aufgebracht wird.

Berechnet wurde jeweils die mittlere Arbeit und Leistung für einen Trainingszyklus (d. h. für die Summe der Wiederholungen und Serien an jeweils einem Trainingsgerät), sowie die Arbeit und die Leistung pro Körpergewicht.

6.3 BIOCHEMISCHE ANALYSEN

In der dieser Arbeit zugrunde liegenden Studie sollte mit Hilfe der Parameter Myoglobin und H-FABP eine neue Methode der Belastungsdiagnostik und -steuerung im (rehabilitativem) Krafttraining entwickelt werden. In Hinblick auf eine möglichst umfassende Anwendung der Methode sollte vor allem auch die nicht-invasive Methode der Urindiagnostik eingesetzt und getestet werden.

Probenahme

Im Verlauf der Studie wurden den Probanden mindestens fünf- z.T. auch sechsmal Blut- und Urinproben entnommen, den Patienten drei- bis viermal. Innerhalb des sechswöchigen Trainings verteilten sich die Blut- und Urinentnahmetermine in den Gruppen G1 bis G4 wie folgt:

Trainingsanfang (P-W0)

Ende 2te Woche (P-W2)

Anfang 3te Woche (P-W3) (wurde nicht bei allen Probanden durchgeführt)

Ende 4te Woche (P-W4)

Anfang 5te Woche (P-W5)

Letztes Training , Ende 6te Woche (P-W6)

Mit dieser Probenahme sollte festgestellt werden, ob sich nach zwei Wochen Training bereits Anpassungserscheinungen nachweisen lassen, bzw. ob mit Beginn der 3ten/5ten Woche ein neuer Trainingsplan mit evtl. höheren Belastungen zu höheren biochemischen Ausscheidungen führt. Bei den Patienten der Gruppe G5 war eine derartiger exakter Probenahmezyklus aus logistischen Gründen leider nicht möglich; es wurde dennoch versucht, ca. alle zwei Wochen Proben zu entnehmen.

Da die Proben möglichst zu dem Zeitpunkt entnommen werden sollten, an dem die Proteinausschüttung nach physischer Belastung am höchsten ist, wurden im Vorfeld der Studie 24-Stunden-Versuche durchgeführt, um die Postausscheidungskinetiken von Myoglobin und H-FABP zu ermitteln. Hierbei zeigte sich, dass bei Myoglobin das Maximum direkt nach der Belastung auftritt, bei H-FABP dagegen erreicht die Ausscheidung nach etwa einer Stunde ihr Maximum.¹³⁹ Aufgrund dieser Postausscheidungskinetiken von Myoglobin und H-FABP wurden die Proben bei den Probanden jeweils direkt vor dem Training sowie ca. eine halbe Stunde nach Belastungsende entnommen.

¹³⁹ Vgl. WILDENAU (2000, 61f).

Plasmaproben

Die Blutentnahme erfolgte aus einer Kubitalvene, wobei die Stauung vor der Entnahme gelöst wurde, um Verfälschungen durch eine mechanische Muskelzellschädigung zu vermeiden. Nach der Entnahme wurden die Proben zehn Minuten mit 2000m/s^2 zentrifugiert und das abpipettierte Plasma bei -20°C in Eppendorfcups eingefroren.

Urinproben

Da die Konzentration des Urins im Verlauf eines Tages sehr stark variiert (bis zu 300%), muss für eine quantitative Urindiagnostik entweder der über 24 Stunden gesammelte Urin analysiert oder der Quotient mit Creatinin gebildet werden.¹⁴⁰ Da die Sammlung von 24-Stunden-Urin für die angestrebte Verwendung der gewählten Parameter zur Belastungsdiagnostik nicht sinnvoll erschien, wurde auf Creatinin als Bezugsgröße für die quantitative Urindiagnostik zurückgegriffen.¹⁴¹

Des Weiteren ist eine mögliche Instabilität der Proteine im Urin zu berücksichtigen, d.h. im Vorfeld müssen Stabilitätsuntersuchungen durchgeführt werden. Hierfür wurden mehrere Myoglobin- (bzw. H-FABP-) freie Urinproben gemischt und mit einer genau definierten Menge an Myoglobin (bzw. H-FABP) bei 21°C versetzt. Danach wurde über 24 Stunden jeweils stündlich eine Probe bei -20°C eingefroren. Während bei den Messungen für H-FABP kein Rückgang der Konzentration festgestellt werden konnte, reduzierte sich die Konzentration des Myoglobins im Urin innerhalb von 24 Stunden um über 90%, so dass deshalb eine Probenahme möglichst direkt im Anschluss an die Belastung erforderlich erscheint.¹⁴²

Für die Urindiagnostik wurde aufgrund der oben aufgeführten Erwägungen und Ergebnisse in Zweipunktmessungen Mittelstrahlurin direkt vor und nach der Belastung in sterilen und verschließbaren Behältern aufgefangen, anschließend in Eppendorfcups gefüllt und bei -20°C eingefroren.

¹⁴⁰ Creatinin entsteht beim Zerfall von Creatin und Creatinphosphat im Muskel. Die über lange Zeiträume konstant bleibende Creatinmenge ist von der Muskelmasse abhängig und daher individualspezifisch. Da das beim Zerfall entstehende Creatinin wird fast vollständig glomerulär gefiltert wird, eignet es sich als Bezugsgröße für die quantitative Urindiagnostik (THOMAS/WALB, 1992).

¹⁴¹ Siehe auch Kap. 6.6.

¹⁴² Die ausführlichen Untersuchungsergebnisse sind bei WILDENAU (2000,24ff) nachzulesen.

Analysemethoden

Die H-FABP-Analyse erfolgte mit einem ELISA-Kit des ICB-Münster; die Auswertung mittels eines herkömmlichen Plattenreaders mit der Software Mikro Win V3.0.

Für die Myoglobin-Analyse wurde ein indirekter monoklonaler Sandwich-ELISA erstellt, wobei monoklonale Antikörper der Firma Genzyme, biotinilierte anti-Maus Antikörper der Firma SBA sowie ein avidinmarkiertes Enzym der Firma Sigma verwendet wurden.

Das Creatinin wurde nach der Jaffe-Methode bestimmt.¹⁴³

Normwerte

Für die Bewertung der gemessenen Daten wurden sowohl ein Normbereich vor der Belastung (Ruhewerte), als auch ein Normbereich nach der Belastung errechnet. Dabei wurde die Formel:

$$\text{Normbereich} = \text{Mittelwert} \pm 2 \text{ Standardabweichungen}$$

zu Grunde gelegt.

Für die Normbereiche nach der Belastung wurden zwei verschiedene Berechnungen zum Vergleich vorgenommen. Zum einen wurde der Normbereich anhand aller gemessenen Daten berechnet, zum anderen wurden die Daten aussortiert und nicht verwendet, bei denen die Probanden subjektive Beschwerden (Muskelkater) aufgrund der Belastung angaben.¹⁴⁴ Die Normwerte können und sollen keinen Anspruch auf eine allgemeine Gültigkeit haben. Zum einen ist hierfür die Datenmenge zu gering, zum anderen wäre es für quantitativ und qualitativ aussagekräftige und vergleichbare Ergebnisse notwendig, die Versuche mit Gruppen zu machen, die in Körpergröße, Gesamtmuskelmasse, Geschlecht und Trainingszustand weitestgehend homogen sind. Die Übungen wären derart zu gestalten, dass sie unter exakt den gleichen Bedingungen (Kontraktionsform, beanspruchte Muskelketten, Dauer und Intensität) ablaufen, wobei neben der physikalischen auch die metabolische Leistung gemessen werden müsste (z. B. durch eine Atemgasanalyse):

¹⁴³ Detaillierte Angaben zur Methodik finden sich bei WILDENAU (2000, 18ff).

¹⁴⁴ Siehe Kap. 7.2, Tab. 7.3.

6.4 RPE-SKALA / SUBJEKTIVE SELBSTEINSCHÄTZUNG

RPE-Skala

Als Methode der subjektiven Belastungseinschätzung wurde in der vorliegenden Studie die 10stellige Version der RPE-Skala. (vgl. Kap. 4.3) eingesetzt. Im Vordergrund stand dabei die Frage, inwieweit die Skala ein geeignetes Maß für eine Belastungssteuerung im (rehabilitativen) Krafttraining darstellen kann und ob sich Zusammenhänge bzw. Korrelationen zwischen den angegebenen RPE-Werten sowie den biochemischen Analysen und den Kraftmessungen feststellen lassen. Um Anhaltspunkte zur Klärung dieser Fragen zu bekommen, wurde bei den Gruppen G1, G2 und G3 die Maximalkraftbestimmung mit der persönlichen Anstrengungseinschätzung verbunden, d. h. die Probanden waren angehalten, jeder im Rahmen des EWM bewältigten Last einen RPE-Skalenwert zuzuordnen. Zudem schätzten sie regelmäßig an jedem Gerät (mit Ausnahme der Isokinetik) die Trainingsbelastungen im Anschluss an eine Serie ein. Da die Gruppe G4 an anderen Geräten trainierte (und somit keine direkten Vergleiche zu ziehen waren), arbeitete sie ohne die RPE-Skala.

Da die Patienten der Gruppe G5 keine Krafttests mittels des EWM absolvierten, beurteilten sie während jeden Trainings an allen Geräten die Trainingsbelastung sowohl am Anfang als auch am Ende der jeweiligen Serie.

Subjektive Selbsteinschätzung / Fragebogen

In der vorliegenden Arbeit sollte ferner der Frage nachgegangen werden, ob ein Krafttraining Einfluss auf die psychische Gesundheit hat und inwieweit sich die hierbei ggf. entstehenden Veränderungen wiederum auf die Trainingssteuerung auswirken.

Im Vorfeld der Untersuchung stellte sich damit das Problem einer geeigneten Test- bzw. Befragungsmethode. Da sowohl Probanden als auch Patienten bereits viel Zeit in das Krafttraining investierten, sollte der zeitliche Aufwand der Befragung so gering wie möglich gehalten werden. Weiter war zu berücksichtigen, dass aufgrund der doppelten Fragestellung nicht nur ein einziges (psychologisches) Merkmal erfasst werden sollte, sondern ein breites Spektrum unterschiedlicher Merkmale. So sollten u.a. die persönlichen Einschätzungen zur Physis (wie Fitness, Kraft, Belastung), zur Organisation (wie z. B. der zeitliche Aufwand), zu sozialen Fragen (wie Trainingsatmosphäre, räumliches und personelles Umfeld) sowie zu psychischen Aspekten (wie Motivation, Körpergefühls und Elementen der psychischen Gesundheit) erhoben werden, wobei z. T. auch die Bewertung der Veränderungen im Verlauf des Trainings von Interesse war. Ebenso war in die Überlegungen einzubeziehen, dass

aufgrund des zeitlichen Untersuchungsrahmens sowie der Anlage der Untersuchung als Pilotprojekt nur eine sehr kleine Anzahl an Probanden/Patienten zur Verfügung standen.

Da der zeitliche Rahmen der Pilotstudie sehr eng gefasst und die Anzahl der Probanden sowohl für quantitative bzw. repräsentative Aussagen als auch für eine Testüberprüfung unzureichend war, wurde die Idee der Erstellung eines eigenen Fragebogens, der alle Gütekriterien eines standardisierten Tests erfüllen würde, verworfen.

Daher wurde unter Berücksichtigung der oben genannten Prämissen in der Literatur nach standardisierten Fragebögen und/oder Tests gesucht, die für den Zweck der Untersuchung geeignet erschienen. Hier ergab sich die Schwierigkeit, dass bereits existierende Fragebögen zumeist nur einen kleinen Teilbereich der aufgeworfenen Fragen abdecken; so gibt es u. a. Tests zum Körperbild, zu Beurteilung des eigenen Körpers oder auch zu Lebenszielen und Lebenszufriedenheit.¹⁴⁵

Zur Abdeckung der gewünschten Merkmale hätten somit mehrere Tests miteinander kombiniert werden müssen, ohne dass damit alle aufgeworfenen Fragen berücksichtigt worden wären. Selbst bei einem Verzicht auf einige Fragestellungen hätte die Kombination mehrerer Tests einen zu großen Umfang angenommen und somit eine übermäßige zeitliche Belastung für die Probanden dargestellt.

Daher wurde schließlich auf einen standardisierten Test verzichtet und stattdessen auf einen bereits existierenden, nicht den Gütekriterien entsprechenden Fragebogen zurückgegriffen, der für das REHA-Zentrum "Rainer Junge" entworfenen worden war. Dieser Fragebogen war auf der Grundlage von Gesprächen mit Patienten in der EAP entstanden, in denen neben positiven physischen Fortschritten häufig auch begleitend auftretende psychische Effekte der Behandlung genannt wurden. Der Fragebogen sollte grobe Hinweise auf verschiedene Aspekte des Wohlbefindens liefern und als Anregung für eine ggf. optimaler zu gestaltende Therapie dienen, jedoch keine normierte oder gar repräsentative Umfrage darstellen. Da die Antworten einiger Patienten, die diesen Fragebogen bereits ausgefüllt hatten, genutzt werden konnten, wurde er für diese Arbeit in leicht modifizierter Form übernommen.

6.5 STATISTIK

Aufgrund der Zielsetzung der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Studie sowie einiger krankheitsbedingter Ausfälle ergaben sich sehr kleine Gruppengrößen. Dies hatte zur Folge, dass die quantitative statistische Auswertung der Daten nur bedingt sinnvoll

eingesetzt werden konnte, d.h. die Ergebnisse haben in erster Linie qualitativen Charakter.

Für die Auswertung der Daten wurden i.d.R. lediglich das arithmetische Mittel (\bar{x}) und die Standardabweichung (s) berechnet. Zudem wurde teilweise der Variationskoeffizient (V) und, bei sehr kleiner Stichprobe (n), zusätzlich der Median (Z) gebildet.

6.6 METHODENKRITIK

Wie bereits dargelegt, erfolgten die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen im Rahmen einer Pilotstudie. In Hinblick auf die Erfordernisse sowie die finanziellen und logistischen Vorgaben dieser Studie wurden kleine Probandengruppen und einfache methodische und/oder technische Ansätze gewählt. Dies hatte u. a. zur Folge, dass in einigen Bereichen der Untersuchungen Vereinfachungen bzw. Kompromisse gefunden werden mussten und dass ein Teil der ermittelten Daten für statistische Auswertungen aufgrund der kleineren Stichprobenumfänge (n) nur bedingt geeignet sind.

Die in Hinblick auf eine Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigenden Faktoren sollen daher nachfolgend kurz aufgeführt werden.

Krafttraining

Die Pilotstudie, und damit auch das Krafttraining, unterlag verschiedenen logistischen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten, die sich erschwerend auf ein normiertes Vorgehen auswirkten. In Hinblick auf die Einbeziehung von Patienten der Anschlussheilbehandlung sowie aufgrund der Voraussetzungen für eine sterile Blutentnahme (mit möglichst schnellem Einfrieren der Proben), wurden als Trainingsorte das Reha-Zentrum "Rainer Junge" (in dem die Patienten der Gruppe G5 in Behandlung waren) sowie der Krafttrainingsraum des Sportinstitutes ausgewählt. Im Vordergrund für die Auswahl dieser Trainingsorte standen die damit einhergehenden Vorteile, wie z. B. hinsichtlich der Blut- und Urinproben sowie gleiche Trainingsmittel für die Gruppen G1, G2, G3 und G5. Demgegenüber standen einige Nachteile, die sich z. T. erst im Laufe der Studie ergaben. Ein schwerwiegendes Problem bestand darin, dass die Probanden ihr Training in den normalen Öffnungszeiten der beiden Krafträume absolvieren mussten. Da beide Räume sehr stark frequentiert waren, ergaben sich oftmals zwangsläufig ungeplante Wartezeiten vor einem Gerät.

¹⁴⁵ Siehe CLEMENT/LÖWE (1996); STRAUß/RICHTER-APPELT (1996) und KRAAK/NORDRÜDIGER (1989).

Dies konnte dazu führen, dass sowohl die vorgegebenen Pausenzeiten als auch die normierte Übungsreihenfolge nicht stringent eingehalten werden konnten.

Weiterhin war es aufgrund der hohen Benutzerzahl in den öffentlichen Trainingsräumen nicht möglich, an den jeweiligen von den Probanden genutzten Geräten exakte Messeinrichtungen zur Aufnahme von Bewegungsausmaß und Bewegungsgeschwindigkeit anzubringen, so dass hier auf die in Kap. 5.2.2 beschriebenen Methoden zur Bestimmung von Arbeitsweg und -zeit zurückgegriffen wurden. Die dabei ermittelten Werte für die jeweils erbrachte Arbeit und Leistung unterliegen somit natürlich höheren Abweichungen als dies mit apparativen Messeinrichtungen der Fall gewesen wäre.¹⁴⁶

In Hinblick auf die Berechnung der relativen Arbeit und Leistung im Verhältnis zur Körpermasse ist zu bedenken, dass je nach Trainingsgerät verschiedene Muskelpartien beansprucht wurden, die in individuell unterschiedlichem Verhältnis zur Gesamtkörpermasse stehen. Streng genommen müsste demnach auch die Masse der jeweils arbeitenden Muskeln anstelle der Gesamtkörpermasse zur relativen Leistungsberechnung herangezogen werden. So führt z. B. die Inanspruchnahme großer Muskelketten zu einer deutlich höheren Sauerstoffaufnahme (bei der Arbeit an der Beinpresse werden ca. 50-60% der maximalen aeroben Kapazität benötigt) als bei kleinen Muskelgruppen wie z. B. der Oberkörpermuskulatur¹⁴⁷. Außerdem ist die mehr oder weniger ökonomische Arbeitsweise des jeweiligen Probanden zu bedenken, aufgrund derer für eine äußerlich gleich erscheinende Arbeit ein unterschiedlich hoher Energieumsatz (Sauerstoffverbrauch) notwendig sein kann. Grund hierfür ist die unterschiedlich starke Mitwirkung unnötiger Muskeln bei der Übungsausführung. In dieser Hinsicht sind auch die berechneten Leistungsdaten sowohl im inter- als auch im intraindividuellem Bereich nur als grobe Annäherungswerte zu betrachten.

Insgesamt ist zu diesem Punkt festzuhalten, dass für eine exakte und quantitative Auswertung die Bestimmung der Stoffwechselleistung in Form einer Atemgasanalyse erforderlich wäre, ein Punkt, der in vorliegender Studie nicht realisierbar war.¹⁴⁸

¹⁴⁶ Hier sei hinzugefügt, dass die Sequenztrainingsgeräte in beiden Trainingsräumen nicht den neuesten technischen Möglichkeiten entsprachen. Sie genügten zwar den einfachsten Anforderungen, verfügten jedoch leider nicht über ein Computeranalysesystem, wie es mittlerweile für viele Geräte erhältlich ist. Mittels dieser Computer ist es möglich, sowohl normierte Maximalkrafttests durchzuführen, als auch ein Trainingsplan zu erstellen, bei dem den Probanden genaue Weg-Zeit-Kurven vorgegeben werden können, die - ähnlich wie im Kap. 5.2.2 für die Isokinetik beschrieben - nachgezeichnet werden müssen. Zugleich errechnet das Programm die entsprechenden Daten für Arbeit und Leistung.

¹⁴⁷ Vgl. TESCH (1994, 240).

¹⁴⁸ Vgl. auch Kap. 6.2.2.

Nach einigen Vorversuchen wurde auf eine standardisierte Zeitvorgabe mittels eines Metronoms verzichtet. In den Vorversuchen war es den Probanden trotz des Metronoms nur selten gelungen, den Bewegungstakt einzuhalten, i. d. R. ging das Arbeiten mit dem Metronom zu Lasten einer vollständigen und exakten Bewegungsausführung. Zudem war in einigen Fällen der Geräuschpegel in den Trainingsräumen so hoch, dass das Metronom nur mit größter Konzentration gehört werden konnte, ebenfalls ein Umstand, der zu Lasten einer genauen Bewegungsausführung ging.

Die für jeweils eine Serie handgestoppte Zeit kann natürlich keine apparativ ermittelte Zeit-Kurve ersetzen, zeigt jedoch entgegen aller Erwartungen gute Ergebnisse mit nur relativ geringen Abweichungen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass innerhalb einer Serie durchaus Tempowechsel vorkommen konnten, ohne dass diese Variabilität im Endergebnis zu erkennen ist. Weiterhin führte diese Methode dazu, dass das Bewegungstempo in den Gruppen G2 bis G5 (d. h. den Gruppen, denen ein zügiges Bewegungstempo vorgegeben worden war) im Verlauf der Studie bei den meisten Probanden zunahm.¹⁴⁹ Zudem war häufig eine Abhängigkeit zwischen Bewegungstempo und Gerät zu beobachten. Vor allem an der Beinpresse sowie z. T. am Butterfly erfolgte die Bewegungsausführung schneller als an den übrigen Geräten; beides Geräte, die mit etwas Schwung deutlich leichter zu bewältigen sind.

Letztlich muss davon ausgegangen werden, dass aufgrund der einfachen Versuchsanordnung die Probanden bessere Möglichkeiten hatten, die Belastungen zu ihrem Vorteil zu manipulieren. So war es ihnen bei subjektiv zu hoch empfundenen Belastungen oder bei mangelnder Motivation durchaus möglich, durch eine Reduzierung des Bewegungsausmaßes oder durch eine Tempoänderung die Beanspruchung zu verringern. In die Auswertung sichtbar ist von diesen möglichen Manipulationen lediglich die für eine Gesamtserie gestoppte Zeit (d. h. eine schneller absolvierte Serie beeinflusst die erbrachte Leistung). Das Bewegungsausmaß dagegen konnte von den Studienleitern nur stichprobenartig kontrolliert werden, so dass hier eine Fehlerquelle unbekanntes Ausmaßes für die ermittelten Werte Arbeit und Leistung vorhanden ist.

Ein weiteres Problem, welches bei den meisten der benutzten Sequenztrainingsgeräten auftrat, war die zumeist nur relativ grobe Gewichtseinstellung. Die möglichen Laständerungen bewegten sich im Optimalfall bei 2,5 kg, häufig jedoch waren die Laststeigerungen nur in 5kg- oder gar 10kg- Schritten möglich.¹⁵⁰ Dies hatte natürlich Auswirkungen sowohl bei der Bestimmung der Maximalkraft mittels des EWM als auch hinsichtlich der Festlegung der Trainingsgewichte, die mit Hilfe der Maxi-

malkrafttests errechnet wurden. Für die Maximalkraftbestimmung über das EWM bedeutete dies, dass zwischen dem letzten gehobenen Gewicht und der im nächsten Versuch nicht mehr bewältigten Last ein Lücke von mehreren Kilogramm klaffte, innerhalb derer sich das tatsächlich noch zu leistende Maximalgewicht befand. Je nach Trainingsgerät betrug diese Lücke zwischen 5% und 20% des EWMs. Weiterhin ergaben sich durch die nur eingeschränkt mögliche Gewichtsabstufung Probleme bei der Festlegung der Trainingsgewichte. So lagen die anhand der Maximalkrafttests ermittelten Trainingsgewichte häufig genau zwischen zwei Gewichtseinstellung, so dass die Trainingsintensität um bis zu ca. 5 % von der im Trainingsplan vorgegebenen Intensität abwich. In der Regel wurden die Gewichte aufgerundet, da sowohl beim LWV als auch beim EWM davon ausgegangen wurde, dass die in den Tests ermittelte Maximalkraft unterhalb der tatsächlich möglichen Höchstleistung liegt.¹⁵¹ Lediglich in den Fällen, in denen das errechnete Trainingsgewicht nur knapp (d. h. bis 20%) über dem tatsächlich einstellbaren Gewicht angesiedelt war, wurde die Trainingsintensität abgerundet.¹⁵²

Somit trainierten die einzelnen Gruppen nicht exakt mit den im Plan vorgesehen Trainingsintensitäten, sondern arbeiteten vielmehr in einem Intensitätsbereich mit 5% bis 10% Abweichung. Genauere Angaben zu der Spannweite der jeweiligen Trainingsintensitäten lassen sich nicht machen, da lediglich die Abweichungen von den jeweils errechneten Intensitäten erkennbar waren, nicht jedoch die bei der Ermittlung der Maximalkraftwerte auftretenden Fehler. Da jedoch in allen Gruppen die gleiche Vorgehensweise hinsichtlich der Auf- bzw. Abrundung der Trainingsintensitäten angewandt wurde, ist trotz der nicht definierbaren Abweichung ein qualitativer Vergleich der Trainingsergebnisse zwischen den Gruppen möglich. Eine Aussage hinsichtlich der Wirksamkeit einer eng begrenzten oder absoluten Trainingsintensität kann hingegen nicht getroffen werden.

Für die Patienten der Gruppe G5 ist zudem zu bedenken, dass sie je nach Behandlungsplan ggf. weitere Geräte und Übungen absolvierten, die zwar nicht in den kon-

¹⁴⁹ Vgl. Kap. 6.1.1.

¹⁵⁰ Eine Ausnahme hiervon bildeten lediglich die Flachbank und die Schrägbank, bei denen eine Feinabstufung bis zu 1,25 kg möglich war.

¹⁵¹ Diese Annahme wird untermauert durch Untersuchungen von BUSKIES (1998) und MARSCHALL/FRÖHLICH (1999, 313), wonach die anhand des EWMs ermittelten Intensitäten i.d.R. zu niedrig angesetzt sind.

¹⁵² Bei den Patienten der Gruppe G5 erfolgte zudem in einigen Fällen eine Verringerung des errechneten Trainingsgewichtes, wenn die verletzten Strukturen dies verlangten oder die Patienten sich einem höherem Gewicht nicht gewachsen fühlten (z. B. aus Angst vor einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes).

kreten Kraftmessungen, jedoch durchaus im Gesamtergebnis ihren Niederschlag finden konnten.

Biochemische Analysen

Die Proteine H-FABP und Myoglobin sollten sowohl im Plasma als auch im Urin nachgewiesen werden. Mit der Urindiagnostik wurde eine einfache und unblutige Möglichkeit der biochemischen Belastungssteuerung angestrebt. Im Verlauf der Studie stellte sich jedoch heraus, dass dieses Verfahren mit einigen Schwierigkeiten behaftet ist. Wie bereits in Kap. 6.3 kurz beschrieben, variiert die Konzentration des Urins im Verlauf eines Tages sehr stark, so dass für eine quantitative Urindiagnostik entweder der über 24 Stunden gesammelte Urin analysiert oder der Quotient mit Creatinin gebildet werden muss. Die Sammlung von 24-Stunden-Urin jedoch erscheint zur Belastungsdiagnostik nur wenig geeignet. So ist z. B. zu berücksichtigen, dass die gewählten Proteine ggf. auch auf weitere, im Verlauf des Tages von den Probanden durchgeführte Tätigkeiten oder kleinere, zu Blutergüssen führende Verletzungen/Unfälle reagieren könnten, was sich ebenfalls im 24-Stunden-Urin niederschlagen würde. Zudem könnte die Methode nur angewendet werden, wenn zwischen den Trainingseinheiten mindestens ein Tag Pause gemacht wird.

Daher wurde der in der Urindiagnostik übliche Quotient mit Creatinin gebildet.¹⁵³ Jedoch erwies sich diese Methode als wenig geeignet, da nach physischer Belastung die berechneten Standardabweichungen größer waren als der Quotient selbst.¹⁵⁴

Auch die im Plasma gemessenen Werte können lediglich qualitativ bewertet werden, da sie weder einer bestimmten Muskelmasse noch einer exakt definierten physikalischen und/oder metabolischen Belastung zuzuordnen sind.¹⁵⁵

Bei den Daten der Gruppe G5 ist im Auge zu behalten, dass das Krafttraining im Rahmen ihres individuellen Behandlungsplans z. T. im Anschluss an eine andere Anwendung (z. B. Krankengymnastik oder Massage) stattfand, durch die ggf. bereits der Proteingehalt im Plasma verändert wurde. Dies ist sowohl für die Ruhe- als auch die Postbelastungswerte zu bedenken. Aber auch bei den Probanden ist nicht vollständig auszuschließen, dass evtl. vor dem Training betriebene Aktivitäten den Proteingehalt im Plasma beeinflussten.

¹⁵³ Vgl. Kap. 6.3.

¹⁵⁴ Vgl. WILDENAU (2000, 27 und 82f). Nach WILDENAU könnte dies in der bei physischer Belastung möglicherweise veränderten Ausscheidungskinetik von Creatinin begründet sein.

¹⁵⁵ Vgl. Kap. 6.3.

Im Gegensatz zu den Gruppen G1 bis G4 konnte in der Gruppe G5 kein stringenter Probenahmeplan eingehalten werden. Dies lag zum einen an den mehr oder weniger guten Genesungsprozessen der Patienten, die stellenweise zu einem Aussetzen des Krafttrainings führen konnten, zum anderen aber auch an den Behandlungsplänen der Patienten, die eine exakte Probenahme häufig verhinderten.

Bei allen Gruppen ist weiterhin zu bedenken, dass das Training manchmal von mehr oder weniger langen Wartezeiten unterbrochen war (s. o.), was sich evtl. auf die schließlich im Postbelastungsplasma bestimmte Proteinmengen ausgewirkt haben könnte.

Da in vorliegender Arbeit kein Zusammenhang der Myoglobinwerte mit der Muskelmasse der einzelnen Probanden hergestellt werden konnte, bzw. die Probandengruppen in Hinblick auf die Gesamtkörpermuskelmasse nicht homogen waren, sind die Daten nur qualitativ zu bewerten und ein Vergleich der Gruppen nur bedingt möglich.

RPE-Skala

Wie schon in Kap. 4.3 kurz angesprochen, spielt die Persönlichkeit und Psyche des Probanden sowohl im Umgang mit sich selbst als auch hinsichtlich des Umfelds eine nicht unerhebliche Rolle bei der Anwendung der RPE-Skala. Ein geringes Selbstvertrauen kann die subjektive Selbstwahrnehmung in beide Richtungen (d. h. Über- als auch Unterschätzung der geleisteten Muskelarbeit) verschieben, ebenso ein bestimmtes Selbstverständnis (wie z. B. dass ein Mann nicht zugeben darf, dass etwas sehr schwer ist o. ä.), ohne dass dies den Probanden bewusst ist. Hinzu kommt bei Patienten der Anschlussheilbehandlung vor allem in den ersten Phasen der Rehabilitation, dass auch die Angst vor Schmerzen oder vor einer neuen Verletzung die Wahrnehmung beeinflussen kann. Nicht zuletzt spielt die jeweilige physische aber auch psychische Tagesform eine nicht unerhebliche Rolle bei der Beurteilung der Anstrengung bei den einzelnen Übungen. Diese Punkte beeinflussen demnach die Probanden bei in der Benutzung der RPE-Skala, ohne dass es ihnen oder dem Studienleiter bewusst ist.

Bei dem Einsatz der RPE-Skala in vorliegender Arbeit sind zudem noch weitere Probleme zu nennen, die eine exakte Auswertung der Daten erschweren. So ist u. a. zu berücksichtigen, dass die RPE-Werte nur jeweils einem Intensitätsbereich mit einer Schwankungsbreite von etwa $\pm 5\%$ zuzuordnen sind. Diese Schwankungsbreite in den Intensitäten ist darauf zurückzuführen, dass die Geräte keine Feinabstufung bei den Gewichtsscheiben aufweisen.

Ebenso ist nicht ganz auszuschließen, dass die Probanden der Gruppen G1 bis G3 trotz der langen Pausen zwischen den einzelnen Laststeigerungen im Rahmen der LWV-Tests etwas ermüdeten und die letzten Gewichte dementsprechend anstrengender empfanden und beurteilten als ohne vorherige Versuche. Dies würde jedoch lediglich den Vergleich mit der Patientengruppe G5 und den Literaturdaten betreffen. Für den Vergleich der RPE-Werte zwischen den Gruppen G1, G2 und G3 spielt dieser Punkt dagegen keine Rolle, da dort alle Probanden der gleichen Versuchsanordnung ausgesetzt waren.

Schließlich ist auch hier zu bedenken, dass die Patienten ihr Training im Rahmen ihrer gesamten EAP absolvierten, d. h. der Behandlungsplan konnte bereits andere Anwendungen vor dem Krafttraining beinhalten (z. B. Krankengymnastik, Bewegungsbad oder Massage), wodurch durchaus das Ausgangsniveau der Patienten beeinflusst sein konnte.

Fragebögen

Wie bereits beschrieben, wurde aus verschiedenen Gründen ein Fragebogen gewählt, der die für eine aussagekräftige Untersuchung notwendigen Gütekriterien nicht erfüllt. Quantitative Aussagen sind aufgrund der sehr kleinen Anzahl der Probanden nicht zulässig. Die Reliabilität des Tests ist unzureichend, da bereits kleine Trainingserfolge bzw. -rückschläge oder aber auch Alltagsproblematiken innerhalb kürzester Zeit ggf. zu einer unterschiedlichen Beurteilung der verschiedenen Fragen führen könnten. Hinzu kommt, dass sich die persönlichen Lebensumstände der verschiedenen Probanden im Laufe der Studie evtl. veränderten (vor allem bei den Patienten der Gruppe G5 hatten Genesungsfortschritte oder gesundheitliche Rückschläge z. T. erheblichen Einfluss auf die Person bzw. Persönlichkeit). In Hinblick auf die Validität des Test ist zu sagen, dass einzelne Fragen eine individuelle Definition der verwendeten Begriffe zulassen (z. B. was ist Wohlbefinden, Körpergefühl, Selbstbewusstsein), so dass identische Antworten auf die gleiche Frage nicht unbedingt das Gleiche aussagen.

Schließlich bleibt für festzuhalten, dass das Umfeld der Probanden (wie z. B. Neben- bzw. Berufstätigkeiten, Stress, Ernährung; soziales Umfeld; Motivation, Tagesform etc.) in fast allen Bereichen der Untersuchung Einfluss nimmt.

Somit kann die Auswertung der Fragebögen lediglich grobe Hinweise auf die vorgegebenen Fragen geben, nicht jedoch repräsentative Ergebnisse.

7 ERGEBNISSE

Der Untersuchung lagen verschiedene Hypothesen und daraus resultierende Fragestellungen zugrunde, die überprüft werden sollten. Da die Ergebnisse des Krafttrainings die Grundlage für die übrigen Fragestellungen bilden, werden sie hier an erster Stelle aufgeführt. Die Numerierung der Hypothesen entspricht dabei der Aufzählung in der Einleitung.

1. Krafttraining:

Hypothesen:

- 2 Allgemein anerkannte, „klassische“ Trainingsmethoden der Maximalkraft und der Kraftausdauer generieren differenzierte Trainingsergebnisse hinsichtlich der Parameter Maximalkraft, Arbeit und Leistung.
- 2a Der je nach Trainingsmethode unterschiedlich hohe, in %Fmax festgelegte Trainingsparameter „Intensität“ lässt sich anhand der Maximalkrafttests Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM) und Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV) exakt bestimmen.

Fragestellungen:

- Welche Auswirkungen haben die verschiedenen Krafttrainingsmethoden auf die Parameter Maximalkraft (Fmax), Leistung und Arbeit? Vergleich der Ergebnisse zwischen gesunden Probanden und Patienten der Anschlussheilbehandlung.
- Sind die beiden eingesetzten Methoden zur Maximalkraftbestimmung vergleichbar und inwieweit sind sie geeignet, die Belastungen im Krafttraining im Sinne einer optimalen Belastungssteuerung exakt einzustellen?

2. Biochemische Analysen

Hypothesen:

- 1 Die Proteine H-FABP und MB sind geeignete biochemische Parameter für eine Belastungsdiagnostik im Krafttraining und können gezielt zur Belastungssteuerung des Trainings eingesetzt werden.
- 1a Anhand der Parameter H-FABP und MB können sowohl aktuelle Belastungshinweise direkt im Anschluss an ein durchgeführtes Krafttraining als auch Adaptationen des Körpers im längerfristigen Trainingsverlauf festgestellt werden.
- 1b Die Eignung von H-FABP und MB für eine Belastungsdiagnostik und –steuerung im Krafttraining ist unabhängig von den jeweils eingesetzten Krafttrainingsmitteln und –methoden.

Fragestellungen:

- Können die biochemischen Parameter Myoglobin und FABP Hinweise auf die jeweiligen Trainingsbelastungen geben und inwieweit können sie zur Belastungssteuerung im Krafttraining (z. B. durch die Erstellung von Normwerten) herangezogen werden?
- Können mittels der beiden biochemischen Parameter Adaptationen des Körpers auf das Training nachgewiesen werden?
- Sind die Parameter für alle eingesetzten Trainingsmethoden und -mittel geeignet?

3. RPE-Skala***Hypothese:***

- 3 Die RPE-Skala ist ein geeignetes Instrument der subjektiven Belastungseinschätzung und der Belastungssteuerung im Krafttraining. Sie ist dabei unabhängig von den gewählten Trainingsmitteln und -methoden.

Fragestellungen:

- Ergeben sich Unterschiede in der Belastungsbeurteilung in Abhängigkeit von der Trainingsintensität und/oder dem Trainingsgerät?
- Bleibt die Beurteilung konstant oder verändert sie sich im Verlauf des Trainings?
- Ist die RPE-Skala (d. h. die subjektive Anstrengungswahrnehmung) für eine Festlegung der jeweiligen Trainingsintensität geeignet?

4. Psychische Effekte***Hypothese:***

- 4 Krafttraining beeinflusst die psychische Gesundheit. Die durch das Krafttraining hervorgerufenen Änderungen der psychischen Gesundheit wiederum beeinflussen das Krafttraining und damit auch die Trainingsergebnisse.

Fragestellung:

- Hat das Krafttraining Einfluss auf die psychische Gesundheit der Probanden und wirkt sich das wiederum auf das Training bzw. die Trainingsergebnisse aus?

Die Darstellung und Erörterung der verschiedenen Einzelergebnisse bietet die Grundlage für die Überprüfung der einzelnen Hypothesen.

7.1 KRAFTTRAINING

7.1.1 Darstellung der Ergebnisse

Nach jeweils zwei Wochen Training wurde die Maximalkraft an den einzelnen Geräten überprüft.¹⁵⁶ Zudem wurden die Parameter Arbeit und Leistung für jedes Training ermittelt und aus diesen Daten über den Zeitraum von zwei Wochen der Mittelwert für die Arbeit und die Leistung pro Körpergewicht berechnet. Die einzelnen Gruppen trainierten mit jeweils unterschiedlichen Intensitäten und an z. T. unterschiedlichen Geräten (s. Kap. 6.1). Um bessere und etwas repräsentativere Vergleichswerte zu erhalten, wurden die Übungen nach großen Muskelgruppen zusammengefasst, nämlich in Rücken- und Beinmuskulatur sowie zusätzlich in Brustmuskulatur für die Gruppe G4. Nachfolgend eine Übersicht über die Geräte und ihre Zuordnung zu den einzelnen Muskelgruppen:

<u>Beinmuskulatur:</u>	<u>Rückenmuskulatur:</u>	<u>Brustmuskulatur (G4):</u>
Isokinetik	Dip	Flachbank
Beinpresse	Latzug	Schrägbank
Beinstrecker	Butterfly	
	Rudern	

Zusätzlich von den Patienten der Gruppe G5 absolvierte Übungen gingen nicht in die Berechnungen ein.¹⁵⁷

Die einzelnen Gruppen trainierten dabei mit folgenden Intensitäten (in % der Maximalkraft):

$$\begin{array}{lll}
 G1 = 50\% F_{\max} & G2 = 65\% F_{\max} & G3 = 85\% F_{\max} \\
 G4 = 60\% F_{\max} & G5 = 50 \text{ bis } 70\% F_{\max}. &
 \end{array}$$

Die ermittelten Ergebnisse für die Parameter Maximalkraft (F_{\max}), Arbeit sowie Leistung stellen sich wie folgt dar:

¹⁵⁶ Wie in Kap. 6 erläutert, kamen zwei verschiedene Maximalkrafttests zur Anwendung. Auf die Problematik der aus diesen Krafttests resultierenden Ergebnissen, die z. T. erheblich auseinander klaffen, wird später in diesem Kapitel noch näher eingegangen.

¹⁵⁷ Je nach Befund trainierten die Patienten auch an anderen Geräten, wobei i.d.R. andere Muskelgruppen beansprucht wurden, so dass diese Übungen die im Rahmen der Studie ermittelten Ergebnisse kaum beeinflusst haben dürften.

Maximalkraft

Im Verlauf der 6 Trainingswochen zeigten alle 5 Gruppen einen deutlichen Kraftzuwachs, der nach den ersten zwei Wochen i. d. R. am größten war (steiler Kurvenanstieg; s. Abb. 7.1). Den größten Kraftzuwachs verzeichnet die Gruppe G5, bei der die Kurve erst nach der 4ten Wochen etwas abflacht. Während die Gruppen G1, G2 und G4 einen fast kontinuierlichen Kraftanstieg mit keiner oder nur geringer Kurvenabflachung nach der zweiten Woche zeigen, ist bei der Gruppe G3 zwischen der 2ten und der 4ten Woche ein deutliches Abflachen zu beobachten, nach der die Kraftwerte bis zum Trainingsende annähernd so stark zunehmen wie zu Beginn des Trainings.

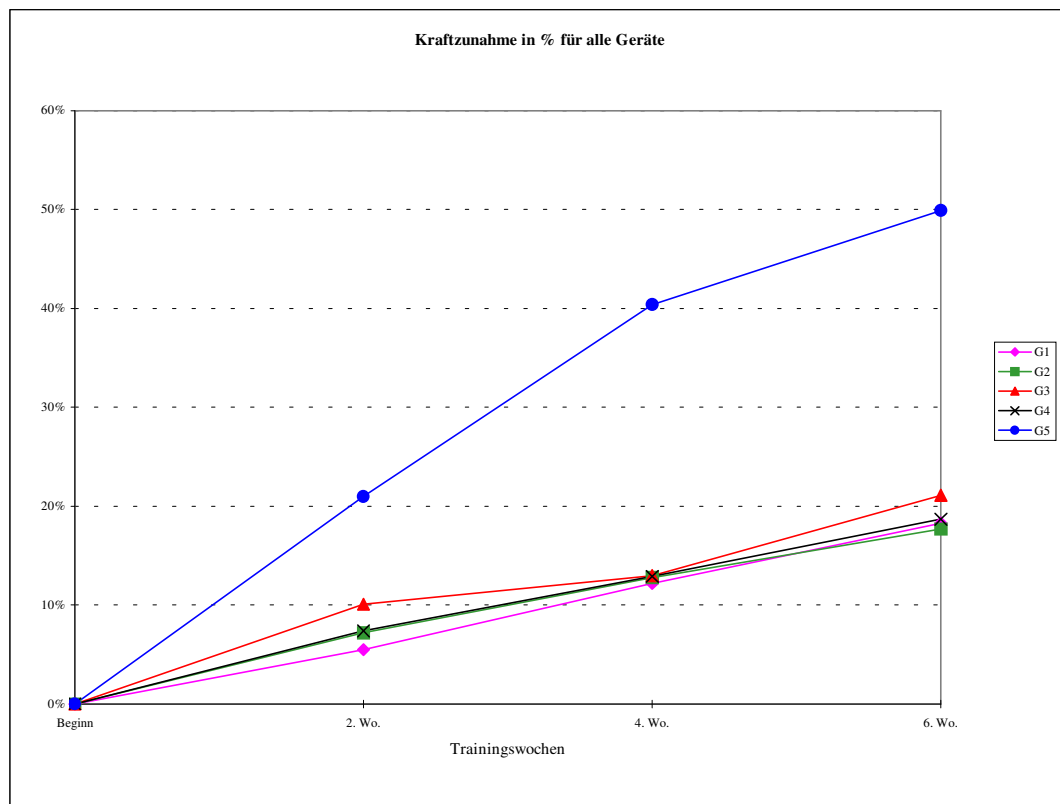


Abb. 7.1: Prozentuale Zunahme von F_{max} (als Mittelwert für alle Übungen und Geräte) im Verlauf der 6 Trainingswochen für alle Gruppen.

Aufgeschlüsselt nach den Hauptmuskelgruppen, bzw. für die Beinmuskulatur zusätzlich nach Isokinetik und Sequenztrainingsgerät (Beinpresse) für die Gruppen G1 bis G3, ergibt sich ein z. T. etwas verändertes Bild (vgl. Abb. 7.2).

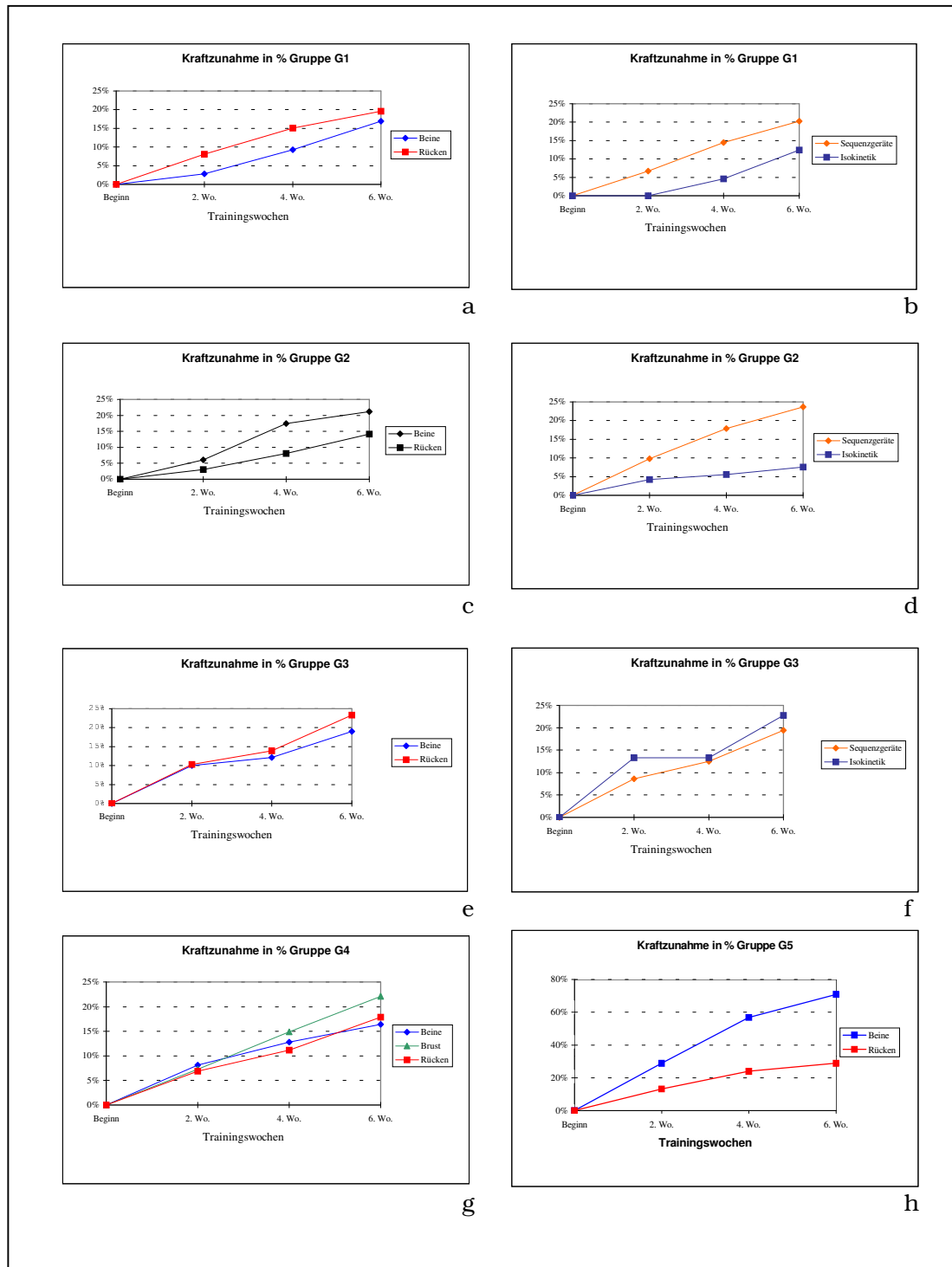


Abb. 7.2: Prozentuale Kraftzunahme der einzelnen Gruppen im Trainingsverlauf, aufgeschlüsselt nach Hauptmuskelgruppen (a, c, e, g, h) bzw. für die Beinmuskulatur nach Sequenztrainingsgerät (Beinpresse) und Isokinetik für die Gruppen G1-G3 (b, d, f).

So wird vor allem in den Gruppen G1, G2 und G5 die unterschiedliche Kraftzuwachsrate zwischen Bein- und Rückenmuskulatur deutlich, die bei Gruppe G5 zugunsten der Beinmuskulatur besonders stark ausgeprägt ist (siehe Abb. 7.2h). Auch in der Gruppe G2 nimmt die Kraft in der Beinmuskulatur stärker zu als in der Rückenmuskulatur, zwischen Sequenztrainingsgerät (Beinpresse) und Isokinetik jedoch ist eine große Diskrepanz zu Lasten der Isokinetik zu verzeichnen (siehe Abb. 7.2c und d). Somit ist davon auszugehen, dass auf die Kraftzunahme in der Beinmuskulatur vor allem die Beinpresse entscheidenden Einfluss gehabt hat.

In der Gruppe G3 verdeutlicht die Kurve der Isokinetik die Stagnation zwischen der 2ten und der 4ten Woche, die bei der Beinpresse nicht ganz so stark ausgeprägt ist (siehe Abb. 7.2 e und f).

In der Gruppe G1 zeigt sich bei der Isokinetik erst zwischen der 2ten und der 4ten Woche ein Kraftzunahme, wobei die Kurve danach, nahezu parallel mit der Kurve für die Beinpresse, relativ steil bis zum Ende des Trainingszyklus ansteigt (siehe Abb. 7.2b).

In den Gruppen G3 und G4 verlaufen die Kurven für die unterschiedlichen Hauptmuskelgruppen annähernd gleich, lediglich die Brustmuskulatur in Gruppe G4 steigt gleichmäßig steil an und hebt sich damit leicht von den anderen Muskelgruppen ab (siehe Abb. 7.2 e und g).

Arbeit und Leistung

Ebenso wie die Kraft nehmen auch die Parameter Arbeit (pro kg Körpermasse) sowie Leistung (pro kg Körpermasse) im Verlauf des Trainings relativ kontinuierlich zu, wobei lediglich in der Gruppe G5 ein annähernd linearer Anstieg über die gesamte Zeitspanne erfolgt, bei den anderen Gruppen nehmen Arbeit und Leistung vorwiegend zu Beginn der Studie zu. Interessant sind die unterschiedlichen prozentualen Zunahmen von Arbeit und Leistung (vgl. Abb. 7.3). So steigt mit Ausnahme der Gruppe G3 in allen Gruppen die Leistung im Vergleich zur Arbeit stärker an. Besonders deutlich wird dies in Gruppe G5, bei der die Leistung um mehr als 15 % im Vergleich zur Arbeit ansteigt; am geringsten fällt diese Diskrepanz mit 4% bei der Gruppe G2 aus. In der Gruppe G3 hingegen ist der Leistungszuwachs geringer als die Zunahme der Arbeit.

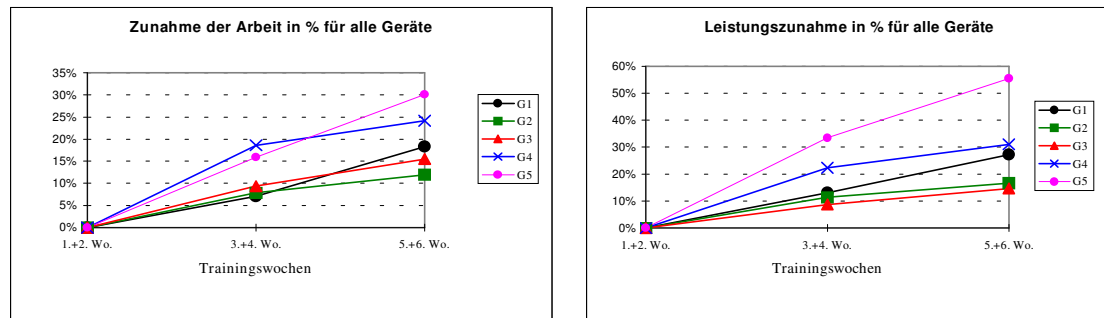


Abb. 7.3: Prozentuale Zunahme der Arbeit/Körpermasse und der Leistung/Körpermasse für alle Gruppen im Trainingsverlauf.

Vergleich der beiden Maximalkrafttests

Wie im Kap. 5 erläutert, kamen zwei unterschiedliche Krafttests zum Einsatz, nämlich die Bestimmung von F_{\max} mittels des Einer-Wiederholungs-Maximums (EWM) sowie die Kraftbestimmung anhand der Wiederholungszahlen submaximaler Gewichte (LWV; verwendet wurde die Wiederholungspyramide nach SCHMIDT-BLEICHER).¹⁵⁸ Im Anschluss an ihr sechswöchiges Training wurden einige Probanden der Gruppen G1 bis G4 gebeten, sich für Vergleichstests zwischen diesen beiden Kraftbestimmungen sowie für Tests zur Überprüfung der Wiederholungspyramide für die im REHA-Zentrum benutzten Sequenztrainingsgeräte zur Verfügung zu stellen.¹⁵⁹ Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollten Aufschluss darüber geben, ob und inwieweit die beiden Verfahren miteinander vergleichbar sind, wie groß eventuelle Differenzen ausfallen und inwiefern dies ggf. Konsequenzen für die Interpretation der Gesamtergebnisse hat.

Bei den Tests ergab sich folgendes Bild:

Für alle benutzten Sequenztrainingsgeräte lassen sich mehr oder weniger deutliche Differenzen hinsichtlich der nach den unterschiedlichen Methoden ermittelten Maximalkraft (F_{\max}^{LWV} bzw. F_{\max}^{EWM}) feststellen, wobei die über das LWV ermittelten Daten i. d. R. über derjenigen des EWM liegen. Aus diesem Grund wurden zunächst die prozentualen Abweichungen auf der Basis der F_{\max}^{LWV} -Werte errechnet.¹⁶⁰ Da jedoch bei einigen Geräten z. T. die Werte für F_{\max}^{EWM} über denen für F_{\max}^{LWV} angesiedelt sind, ergab sich mit oben genanntem Bezugspunkt ein verzerrtes Bild. Dies trifft vor allem auf die Geräte Rudern, Butterfly und Beinstrecker zu.

¹⁵⁸ Vgl. SCHMIDTBLEICHER (1994) sowie Kap. 4.1.3.

¹⁵⁹ Vgl. Kap. 6.2..

¹⁶⁰ Berechnet wird zunächst die Differenz $F_{\max}^{\text{LWV}} - F_{\max}^{\text{EWM}}$ für jeden Probanden. Aus diesem Wert ergibt sich dann die prozentuale Abweichung, wobei F_{\max}^{LWV} mit 100% gleichgesetzt ist. Die aufgetragenen Werte sind Mittelwerte aus allen Versuchen an dem jeweiligen Gerät.

In einer zweiten Grafik sind daher die Differenzen in % bezogen auf den jeweils höheren Fmax-Wert der beiden Tests dargestellt. Zudem sind für beide Berechnungen der Median sowie die Standardabweichung aufgetragen.

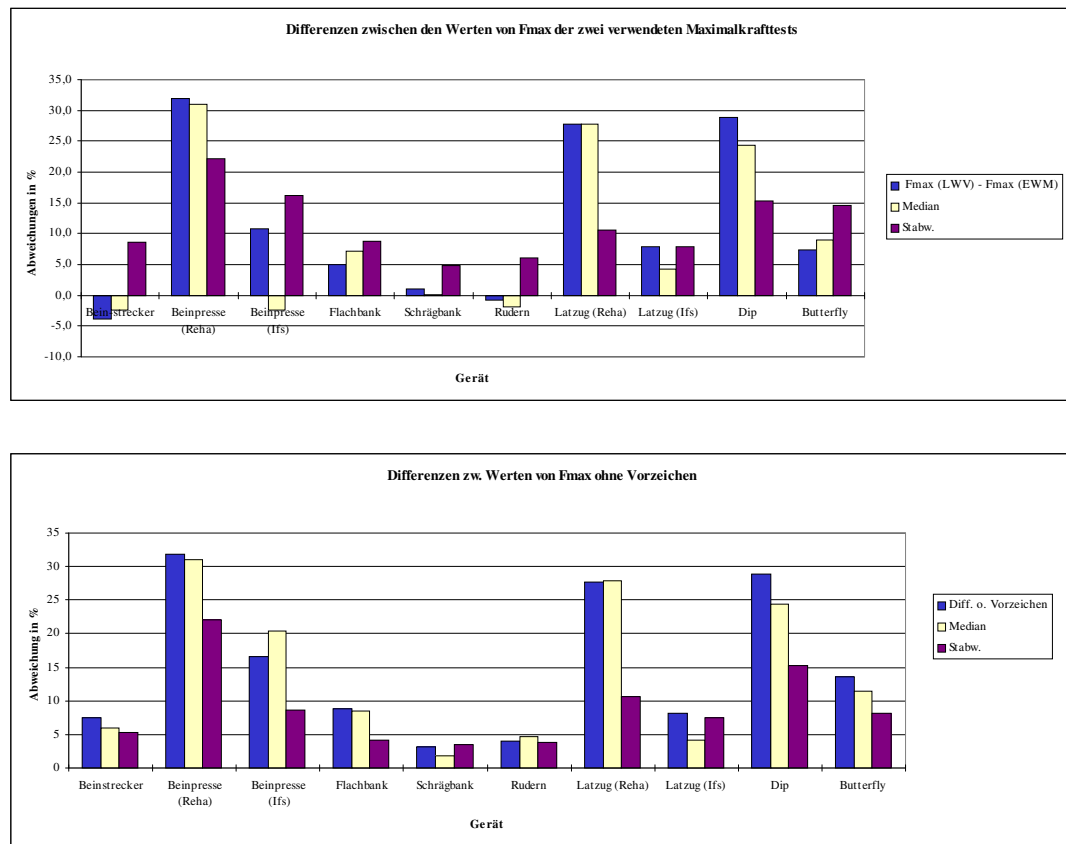


Abb. 7.4: Vergleich der beiden in der Studie benutzten Maximalkrafttests: Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM) und Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV) nach SCHMIDTBLEICHER (1994).

Die geringsten Differenzen zwischen den ermittelten Fmax-Werten zeigen die Übungen für die Brustmuskulatur (Schräg- und Langbank) sowie die Geräte mit Betonung der Schulterretraktion (Rudern und Butterfly). Hier liegen die Abweichungen um die 5% mit Standardabweichungen zwischen 3 und 8%. Im Gegensatz zum Latzug im REHA-Zentrum, wo die Abweichung ähnlich wie beim Dip mit über 25% sehr hoch ist, zeigen die Werte für den Latzug (Ifs) eine relativ geringe Abweichung.

Ein ähnliches Bild ergibt der Vergleich der Geräte für die Beinmuskulatur. Während die Beinpresse (Reha) wiederum extrem starke Differenzen zwischen den beiden ermittelten Maximalkraftwerten aufweist (wobei der Wert für F_{max}^{LWV} stets über dem von F_{max}^{EWM} liegt) sind die Daten für die Beinpresse (Ifs) deutlich niedriger. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei der Beinpresse (Ifs) insgesamt starke Schwankungen in beide Richtungen zu beobachten sind, d. h. fast bei der Hälfte der Versuche liegt der mittels des EWM erzielte Fmax-Wert über demjenigen des LWV. Im Gegensatz zu den Beinpressen liegen die Differenzen für den Beinstrecker im Be-

reich von $\pm 7\%$, wobei aus der Grafik deutlich ersichtlich wird, dass auch bei diesem Gerät starke Schwankungen hinsichtlich des jeweils höheren Fmax-Wertes zu verzeichnen sind. Größere Differenzen mit $+ 10\%$ und Standardabweichungen zwischen 3 und 9% ergeben sich bei den Geräten Dip und Latzug.

Um diese Messungen exemplarisch für die Geräte Dip, Latzug (Reha) und Butterfly nochmals auf andere Weise zu überprüfen, wurden 5 Probanden 2 Tage nach dem LWV-Tests zu einem Nachversuch gebeten.¹⁶¹ Sie wurden dazu angehalten, nach kurzer Aufwärmphase die mittels des LWV-Tests errechneten (und ihnen nicht bekannten) Maximalgewichte einmal zu bewegen.

Gerät	Latzug			Dip			Butterfly		
Fmax / Proband	Fmax LWV (kg)	Fmax EWM (kg)	Differenz (in %)	Fmax LWV (kg)	Fmax EWM (kg)	Differenz (in %)	Fmax LWV (kg)	Fmax EWM (kg)	Differenz (in %)
P 1	42,5	35	17,6	42,5	32,5	23,5	40	40	0
P 2	45	37,5	16,7	45	40	11,1	50	45	10
P 3	42,5	37,5	11,8	45	37,5	16,7	60	60	0
P 4	42,5	37,5	11,8	45	37,5	16,7	55	55	0
P 5	65	57,5	11,5	65	62,5	3,8	115	Höchstgewicht (100)	/

Tab. 7.1 : Testreihe zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der beiden verwendeten Maximalkrafttests (LWV und EWM).

Dies gelang den Probanden lediglich beim Butterfly. Bei den beiden weiteren Geräten, Dip und Latzug (Reha), gelang zwar z. T. eine kleine Steigerung des vorherigen Einer-Wiederholungs-Maximums um 2,5 bzw. 5 Kg, jedoch lagen diese Werte mit durchschnittlich $\pm 15\%$ zumeist noch deutlich unter der anhand des LWV errechneten Maximalkraft (siehe Tab. 7.1).

7.1.2 Erörterung der Ergebnisse

Hypothese 2 postuliert differenzierte Ergebnisse für die verschiedenen Parameter (Kraft, Arbeit und Leistung) in den einzelnen Trainingsgruppen. Somit ist also zuvorderst zu überprüfen, ob diese Annahme bestätigt werden kann.

Im Vergleich aller Gruppen ergibt sich die größte Kraftzunahme in der Gruppe G5 und hier vornehmlich in der Beinmuskulatur. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da die Patienten aufgrund ihrer Verletzungen bzw. die dadurch bedingte mehr oder weniger lange Ruhigstellung der unteren Extremitäten ein deutlich vermindertes Aus-

¹⁶¹ Die Beinpresse (Reha) war nicht zu überprüfen, da die einstellbare maximale Lasthöhe für die Bestimmung von Fmax mittels des EWM zu niedrig war.

gangsniveau sowohl hinsichtlich der Kraft als auch in Bezug auf die Beweglichkeit bzw. Koordination mitbrachten. Die starke Kraftzunahme ist vermutlich vornehmlich auf eine verbesserte inter- und/oder intramuskuläre Koordination sowie ein gesteigertes Selbstvertrauen zurückzuführen; Muskelhypertrophie als Ursache ist für den kurzen Zeitraum kaum zu erwarten.¹⁶²

Im Vergleich der verschiedenen Trainingsmethoden der gesunden Probanden ergibt sich die größte Kraftzunahme in der Gruppe G3, d.h. also bei den Probanden, die nach klassischen Methoden zur Vergrößerung des Muskelquerschnitts trainiert haben. Im Vergleich der beiden Gruppen, die nach der Bodybuildingmethode trainierten (G2 und G4), erzielten die Probanden der Gruppe G4 den größeren Kraftzuwachs, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Probanden der Gruppe G2 nur an zwei Tagen in der Woche trainierten.¹⁶³ Die Gruppe G1 schließlich trainierte zwar vorwiegend die Kraftausdauer, erreichte aber dennoch eine größere Kraftzunahme als die Gruppe G2.

Obwohl auch bei den Probanden der Gruppen G1 bis G4 davon auszugehen ist, dass es im Verlauf des sechswöchigen Trainings nicht zu einer Muskelhypertrophie gekommen ist, wurden mit Ausnahme der Gruppe G2 die aufgrund der Trainingsmethoden zu erwartenden Kraftzunahmen in den einzelnen Gruppen erreicht.

Damit trifft die Hypothese 2, nach der die verschiedenen Trainingsmethoden entsprechend differenzierte Trainingsergebnisse hervorbringen, für den Parameter „Maximalkraft“ im überwiegenden Maße zu.

Es stellt sich nun die Frage, in welchem Maße die verschiedenen Trainingsmethoden Einfluss auf die inter- und intramuskuläre Koordination ausübten. Weitergehend ist in dieser Hinsicht zu überdenken, warum ausschließlich in der Gruppe G3 die Rückenmuskulatur die stärkere Kraftzunahme zeigt, während in den anderen Gruppen die Beinmuskulatur vom Training profitiert zu haben scheint. Auch im Vergleich Isokinetik versus Beinpresse erreicht nur die Gruppe G3 mittels der Isokinetik die größere Kraftzunahme, bei den Gruppen G1 und G2 hingegen scheint die Beinpresse den entscheidenden Einfluss auf die Kraftzunahme in der Beinmuskulatur zu haben. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Probanden bei der Isokinetik im Sitzen, d.h. also mit Hüftbeugung, gearbeitet haben, während die Beinpresse in liegender Position absolviert wurde, d.h. die Hüfte war in der Endphase der Bewegung annähernd gestreckt, was eine größere Kraftentfaltung als in Hüftbeugung zulässt.¹⁶⁴

¹⁶² Vgl. u. a. MORITANI (1994,266ff).

¹⁶³ Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Probanden in der Gruppe G2 sich im Verlauf der Studie Krankheitsbedingt auf drei Personen reduzierte, so dass die Mittelwerte dementsprechend zu bewerten sind.

¹⁶⁴ Vgl. ZATSIORSKY (1996, 72).

Jedoch sollte sich dieser Faktor nicht in der prozentualen Kraftzunahme im Verlauf des sechswöchigen Trainings niederschlagen, sondern allenfalls im Vergleich der maximal erbrachten Leistung auf der Beinpresse bzw. dem Isokinetikgerät.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Training mit hohen Lasten vor allem auch bei der Isokinetik stärker auf die inter- und intramuskuläre Koordination einzuwirken scheint als ein Training mit mittleren Lasten.¹⁶⁵ Zu bedenken ist zudem der Einfluss individueller koordinativer Fähigkeiten, bzw. die unterschiedlich schnelle Verbesserung der Leistung durch Lerneffekte sowie die individuell unterschiedliche Muskelfasertypenverteilung.

Da der Parameter Arbeit von der Kraft und dem Weg (Hubhöhe) abhängig ist, wäre zu erwarten, dass die Zunahme der Arbeit parallel zur Kraftzunahme verläuft. Dies ist allerdings nur bei den Gruppen G2 und G3 der Fall. In den Gruppen G1 und G4 ist die Zunahme der Arbeit größer, d.h. bei unveränderter Hubhöhe bedeutet dies, dass die jeweiligen Trainingsgewichte oberhalb der vorgegebenen Belastungsintensität lagen. Bei der Gruppe G5 hingegen nahm die Arbeit bedeutend weniger stark zu als die Kraft, ein Zeichen dafür, dass die Patienten mit geringeren Gewichten trainierten, als der Kraftzuwachs und die Belastungsintensität es ermöglicht hätten.

Demnach kann die Hypothese 2 in Hinblick auf den Parameter „Arbeit“ nur bedingt bestätigt werden.

Die Abweichungen sind zum einen darin begründet, dass die Gewichte aufgrund der geräteabhängig vorgegebenen Gewichtsscheiben nicht exakt um die prozentualen Maße erhöht werden konnten, wie F_{max} stieg (d.h. die Gewichte wurden entsprechend auf- bzw. abgerundet). Zum anderen trainierten die Patienten in Hinblick auf ihre Verletzung aus medizinischen oder aber auch psychischen Gründen tendenziell eher mit zu geringen Lasten, so dass bei ihnen die Arbeit auf einem geringeren Niveau blieb als die Kraftzunahme.

Der Parameter Leistung nimmt nicht parallel zum Parameter Arbeit zu, wie dies bei gleichbleibender Bewegungsgeschwindigkeit zu erwarten gewesen wäre.

Für den Parameter Leistung kann demnach die Hypothese 2 nicht aufrecht erhalten werden.

Mit Ausnahme der Gruppe G3 nimmt die Leistung stärker zu als die Arbeit, ein Hinweis darauf, dass die Frequenz bei den Bewegungsausübungen im Laufe des Trainings deutlich schneller geworden ist. Dies könnte sowohl an einem zunehmend sichereren Umgang mit den Geräten bzw. Übungen liegen, es könnte aber auch ein Indiz dafür sein, dass die Übungen bewusst oder unbewusst evtl. nicht ganz sauber

und in vollem Umfang durchgeführt wurden. Lediglich in Gruppe G3 ist die Leistungszunahme geringer als der Arbeitszuwachs, d.h. die Übungen wurden im Verlauf der Studie eher langsamer durchgeführt als zu schnell. Dies könnte u.a. daran liegen, dass weniger Wiederholungen zu absolvieren waren und die Probanden angehalten waren, bei jeder Bewegung langsam mitzuzählen. Bei den anderen Gruppen lautete die Anweisung lediglich, dass die Übungen „zügig“ absolviert werden sollten, eine Anweisung, die allem Anschein nach zu variabel ist.

In Hinblick auf die Hypothese 2 stellt sich die Frage, warum die Parameter Arbeit und Leistung nicht zu den erwarteten Ergebnissen geführt haben, obwohl die Maximalkraft in fast allen Gruppen die erwarteten differenzierten Trainingsergebnisse hervorgerufen hat. Hier ist eindeutig festzuhalten, dass die Abweichungen der Ergebnisse für Arbeit und Leistung auf methodische Fehler und/oder apparative Schwächen beruhen.

Eine exakte (bio)mechanische Leistungsdiagnose beruht in der Regel auf einer Registrierung von Kraft-Zeit-Verläufen mittels spezieller Kraftaufnehmer. Die Parameter Arbeit (W) und Leistung (P) hängen dabei u.a. von der aufgewendeten Kraft sowie der Bewegungsgeschwindigkeit ab, wie die nachfolgenden Gleichungen verdeutlichen.

$$W = F \cdot s \quad \text{und} \quad P = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v = \frac{W}{t}$$

mit: F = Kraft; s = Weg, t = Zeit und v = Geschwindigkeit.

Die Kraft (F) und der Impuls (p) wiederum berechnen sich mit:

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad \text{und} \quad p = m \cdot v = \frac{dF}{dt} = m \cdot \frac{da}{dt}$$

mit: m = Masse; a = Beschleunigung; dv = Geschwindigkeitsänderung; dt = Dauer d. Beschleunigung; da = Änderung d. Beschleunigung; dF = Kraftänderung

Die parametrische Beziehung zwischen Kraft und Geschwindigkeit kann einer hyperbolischen Gleichung angenähert werden, wobei das Kraftmaximum bei geringen Geschwindigkeiten erreicht wird bzw. die maximale Geschwindigkeit bei einem Widerstand nahe Null. Die maximale Kraft (F_{\max}) und die maximale Geschwindigkeit (v_{\max}) sind also umgekehrt proportional.

¹⁶⁵ Siehe auch ZATSIORSKY (1996, 114ff).

Diese Beziehungen machen deutlich, dass eine maximale mechanische Leistung (P_{\max}) bei mittleren Kräften und Geschwindigkeiten erreicht wird.

Bei größeren Bewegungsgeschwindigkeiten wird die aufgewendete Kraft immer geringer, wohingegen die benötigte Energie (d.h. Arbeit und Wärme) zunimmt.¹⁶⁶

Im optimalen Fall gilt:

$$P_{\max} = \dot{A}_{V_{\max}} \cdot \frac{1}{2}F_{\max} = \frac{1}{6} (v_{\max} \cdot F_{\max})^{167}$$

Neben diesen (bio)mechanischen Beziehungen hängen Leistung und Arbeit zudem auch von der Körperhaltung, dem individuellen motorischen Stereotyp sowie dem individuellen Verhältnis von Kraftarm zu Lastarm (eingelenkige Bewegungen) ab. So können bereits geringe Veränderungen der Körperhaltung zu deutlichen Kraftänderungen führen. Zudem spielen die Elastizität der Muskeln und Sehnen und das neuronale Zusammenspiel der Muskeln eine Rolle für die Entwicklung der Parameter Kraft, Leistung und Arbeit.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die durch die oben erläuterten Faktoren beschriebene individuelle Bewegungsausführung Einfluss auf die Parameter Arbeit und Leistung hat. Die Hypothese 2 kann also in erster Linie deshalb nicht bestätigt werden, weil die benutzten Geräte nicht im ausreichendem Maße eine präzise Messung aller eine Bewegung charakterisierenden Größen erlaubt haben. Um eine exakte Messung der Parameter Kraft, Arbeit und Leistung zu gewährleisten, müssen die Geräte nicht nur Kraft-Zeit-Verläufe ermitteln können, sondern neben EMG-Messungen möglichst auch eine Atemgasanalyse einschließen. Alle Bewegungen sollten so exakt erfasst werden können, dass zuverlässig bestimmt werden kann, welche Muskeln bei welcher Bewegung mit welchem Aufwand an Kraft, Arbeit und Leistung tätig sind. Insgesamt ist davon auszugehen, dass bei methodisch und apparativ präzise eingestellten Größen für die Belastungskomponenten Belastungsintensität (d.h. Gewicht) und Belastungsdauer (d.h. Zeit pro Wiederholung) sowie einer exakten Messung der oben beschriebenen Faktoren die Hypothese 2 für alle Parameter Gültigkeit besitzen sollte.

Bei allen Interpretationen ist zu berücksichtigen, dass es sich um jeweils sehr kleine Gruppen handelt, wodurch die statistischen Auswertungen mit großen Fehlern behaftet sein können. Hinzu kommt, dass in den jeweiligen Gruppen jeder Proband ein individuelles Ausgangsniveau mitbrachte, sowohl in Hinblick auf den allgemeinen körperlichen Zustand, dem Anteil der Muskelmasse/Körpergewicht und dem prozentualen Anteil der verschiedenen Muskelfasertypen als auch hinsichtlich der Psy-

¹⁶⁶ Vgl. ZATSIORSKY (1996, 56).

¹⁶⁷ Vgl. ZATSIORSKY (1996, 59).

che, seinem sozialen Umfeld etc. Vor allem die Motivation spielt im Krafttraining eine große Rolle, was sich u.a. auch auf die Bewältigung der Maximalkrafttests, die letztlich Grundlage für die Kraftbestimmung und damit für den Trainingsfortschritt darstellten, auswirkt. Die Motivation dürfte auch in Hinblick auf die unterschiedliche Kraftzunahme der Rücken- bzw. Beinmuskulatur eine Rolle gespielt haben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die einzelnen Probanden vermutlich mehr „Energie“ in die Übungen gesteckt haben, die für sie angenehmer oder ansprechender bzw. die ihnen für ihre individuellen Trainingsziele ggf. brauchbarer erschienen.

Wie die Untersuchungen zu den Maximalkrafttests gezeigt haben, bestehen große Unterschiede zwischen den beiden Tests. Hierbei konnte zwar die Tendenz festgestellt werden, dass das LWV zumeist höhere F_{max} -Werte liefert als das EWM, jedoch sind die Abweichungen so groß, dass eine pauschale Aussage in dieser Richtung nicht zulässig ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Hypothese 2a nicht bestätigt werden kann, wonach die Maximalkrafttests eine exakte Einstellung der Belastungsintensität gewährleisten.

Es stellt sich die Frage, wie die großen Differenzen zwischen den Krafttests zustande kommen. Hier können eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren wirksam werden, die u.a. mit der individuellen (psychischen wie auch physischen) Persönlichkeit der Probanden zusammenhängen. So spielt z. B. die Motivation bei den Krafttests eine sehr große Rolle, wobei jeder Test eine andere Ebene anspricht. Während der Test mit dem LWV eher das Durchhaltevermögen beansprucht, kommt beim Krafttest mit maximalen Lasten eher das Selbstbewusstsein sowie die Konzentrationsfähigkeit zum Tragen. Auch ist zu bedenken, dass das äußere Umfeld insbesondere beim EWM die Motivation der Probanden – und damit ihre Leistung – beeinflusst haben könnte. Bei mehreren Zuschauern bzw. im Beisein anderer Studienteilnehmer könnte der Ehrgeiz, eine höhere Last zu schaffen als vorher (bzw. als die anderen Teilnehmer) eine deutliche Leistungssteigerung bewirken.¹⁶⁸ Beim LWV dagegen tritt dieser Faktor nicht so stark in den Vordergrund, da das Ergebnis erst umgerechnet werden muss, d.h. für den Probanden nicht sofort transparent ist.

Es ist in diesem Zusammenhang auffällig, dass vor allem in der Gruppe G4 an einigen Geräten sehr große Schwankungen bei dem Vergleich der beiden Tests auftreten. Da die Gruppe in einem „normalen“ Krafraum trainierte, der u.a. von gut trainierten Kraftsportlern und Bodybuildern besucht wurde, könnte hier ggf. zeitweise (je nachdem, welches Publikum während der Tests anwesend war) der psychische Druck, es den Kraftsportlern gleichzutun, größer gewesen sein als z. B. bei den Probanden, die im Reha-Zentrum mit potentiell „schwächeren“ Personen trainierten.

Auch individuelle Voraussetzungen nehmen Einfluss auf die bei den verschiedenen Tests realisierten Kraftwerte. Dies trifft zum einen auf Faktoren wie z. B. Gelenkwinkel und Muskelfasertypenverteilung zu, zum anderen auf das unterschiedliche Maximalkraftniveau bzw. den allgemeinen Trainingszustand.¹⁶⁹ So könnten sportlich unspezifisch trainierte Personen mit einer guten Fähigkeit der intramuskulären Koordination bei dem EWM höhere Lasten bewältigen als völlig ungeübte Probanden. Letztere können evtl. allein aufgrund einer mangelnden Koordination nicht alle verfügbaren motorischen Einheiten zur Bewältigung der extrem hohen Last rekrutieren, wohingegen die Bewältigung der geringeren Lasten beim LWV auch mit der Rekrutierung weniger (langsamer) motorischer Einheiten möglich ist.¹⁷⁰ Andererseits kann es ggf. durch die Rekrutierung nicht benötigter Muskelgruppen aufgrund einer schlechten intermuskulären Koordination beim LWV zu einem vorzeitigen Abbruch der Belastung kommen, wohingegen die einmalige Bewältigung einer hohen Last evtl. machbar ist¹⁷¹. Zwar waren alle Probanden vor der Studienteilnahme nicht kraftsporttrainiert, jedoch übten einige Probanden regelmäßig andere Sportarten aus, fuhren viel Rad (nicht sportlich) oder waren in ihrem Beruf stärker körperlich belastet.

Neben den individuellen Voraussetzungen sollte bedacht werden, ob und inwieweit die Ergebnisse in den unterschiedlichen Krafttests von der Anzahl und/oder der Größe der jeweils beanspruchten Muskelgruppen abhängen könnten. So sind die Differenzen zwischen beiden Krafttests u.a. bei den Geräten groß, bei denen viele verschiedene Muskelgruppen zum Einsatz kamen (wie z. B. Dip und Latzug), wohingegen bei anderen Übungen, die weniger Muskeln, bzw. Muskelgruppen benötigen, geringere Abweichungen festzustellen sind (z. B. Rudern, Butterfly sowie die Brustmuskelübungen). Diese Verteilung deutet darauf hin, dass die mehr oder weniger gute intermuskuläre Koordination Einfluss auf die unterschiedliche Bewältigung der Lasten bei den jeweiligen Krafttests hat, d. h je mehr Muskelgruppen koordiniert werden müssen, desto größer werden die Unterschiede zwischen LWV und EWM.¹⁷²

¹⁶⁸ Vgl. u.a. HOLLMANN (1990,192f).

¹⁶⁹ Vgl. BOECKH-BEHRENS/BUSKIES (1999).

¹⁷⁰ So müssen mit zunehmender Kraftanstrengung immer mehr motorische Einheiten aktiviert und dementsprechend auch koordiniert werden (vgl. z. B. ZATZORSKY (1996, 97 und GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER, 1999, 227).

¹⁷¹ Durch die Beteiligung synergistischer Muskelgruppen kann ggf. eine hohe Last bewältigt werden, andererseits jedoch können die (untrainierten) Hilfsmuskeln evtl. schneller ermüden, was zu einem vorzeitigem Belastungsabbruch führt.

¹⁷² Auch MARSCHALL/FRÖHLICH (1999,313) vermuten im Vergleich verschiedener Übungen hinter höheren Wiederholungszahlen bei gleicher Intensität Kompensationsmechanismen von mehr beteiligten synergistischen Muskelgruppen.

Bei den Übungen der Beinmuskulatur im IFS (Beinpresse; Beinstrecker), die in erster Linie eine Hauptmuskelgruppe ansprechen, ist schließlich zu beobachten, dass die Ergebnisse in beide Richtungen streuen. Da hier die intermuskuläre Koordination eine eher untergeordnete Rolle spielt, müssen diese Differenzen auf andere Ursachen zurückgeführt werden. Als mögliche Gründe kommen motivationale oder auch gerätespezifische Ursachen in Frage. Während in der Gruppe G4 die Motivation eine große Rolle gespielt haben dürfte (s.o.), kommen für die beobachteten Differenzen zugunsten des LWV bei der Beinpresse im Reha-Zentrum vermutlich überwiegend gerätespezifische Faktoren zum Tragen. So ist es durchaus möglich, dass die Probanden beim LWV einen etwas geringeren Bewegungsweg bewältigten als beim EWM und zudem den Schlitten beim LWV häufig mit etwas Schwung bewegten, wodurch die Bewegungsausführung erleichtert wurde. Bei dem EWM kommt erschwerend hinzu, dass das schwere Gewicht bereits vor der eigentlichen Bewegungsausführung in die Ausgangsposition bewegt werden musste, was schon im Vorfeld Kraft kostete.

Somit ist schließlich auch zu überlegen, inwieweit die an den einzelnen Geräten in unterschiedlichem Ausmaß vorhandenen Variationsmöglichkeiten in der Bewegungsausführung bzw. dem Bewegungstempo Einfluss auf die Krafttests hatten. Wie bereits in Kap. 6.6 kurz ausgeführt, bot die relativ einfache Versuchsanordnung durchaus Manipulationsmöglichkeiten. Daher ist es z.B. denkbar, dass die Wiederholungszahlen beim LWV an einzelnen Geräten aufgrund nicht exakt und im vollem Ausmaß ausgeführter Bewegungen überhöht waren. Wenn es also den Probanden möglich war, an den Geräten (bewusst oder unbewusst) „zu schummeln“, verringerte sich durch die Verkürzung des Bewegungsausmaßes oder aber auch durch eine leichte Erhöhung des Bewegungstempos (arbeiten mit „Schwung“) der Kraftaufwand, wodurch mehr Wiederholungen erreicht wurden.

Bei dem Vergleich der beiden Tests fällt auf, dass die beste Korrelation bei Last-Wiederholungs-Verhältnissen von 7 bis 15 Wiederholungen (entsprechend einem Gewicht von ca. 65% bis 80% F_{max}) auftreten. Dies ist insofern nachvollziehbar, als bei einem zu leichtem Gewicht zu viel Wiederholungen möglich sind und der Proband nach mehr als 25 Wiederholungen ggf. einfach die Lust verliert und deshalb abbricht. Bei einem zu schweren Gewicht hingegen fehlt zum einen die Gewöhnung an die Bewegung und das Gewicht, zum anderen ist die psychologische Hemmschwelle relativ hoch, so dass der Proband aus diesen Gründen evtl. zu früh aufgibt. Es wäre zu überprüfen, inwieweit die RPE-Skala eine Möglichkeit darstellt, ein für den jeweiligen Probanden für jedes Trainingsgerät optimale Gewicht für das LWV festzulegen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass bereits vor Beginn des Trainings große Fehlerquellen auftreten können, die dazu führen, dass die eingangs aufgestellten Hypothesen 2 und 2a nicht oder nur sehr begrenzt bestätigt werden konnten.

Die beiden gewählten Maximalkrafttests können den Ergebnissen zufolge keine exakte Einstellung der Intensität gewährleisten (Hypothese 2a).

Die verschiedenen Trainingsmethoden der Maximalkraft und Kraftausdauer können nur bedingt differenzierte Ergebnisse generieren (Hypothese 2), weil allein schon durch die Festlegung des Trainingsgewichts mittels einer der beiden Krafttests große Fehler entstehen. Dabei wird eine große Fehlerquelle vermutlich durch die psychische wie physische Tagesform der Probanden gebildet. Aber auch andere Faktoren wie die individuellen muskulären Voraussetzungen sowie gerätespezifische Merkmale („Schummelmöglichkeiten“; Gewichtseinstellungen, Beanspruchung unterschiedlich vieler Muskeln/Muskelgruppen) spielen eine Rolle. Weitere Fehlerquellen für ein exakt definiertes Training entstehen bei der Festlegung der Trainingsgewichte (auf- bzw. abrunden des berechneten Gewichtes aufgrund der vorhandenen Gewichtsscheiben) sowie der individuellen Bewegungsausführung (durch z. B. nicht korrekt ausgeführte Bewegungen, evtl. Mehrarbeit aufgrund unnötig aktivierter Muskeln oder Variationen im Bewegungstempo). Bei den Patienten kommt als weiterer Faktor die Angst vor Schmerzen bei der Bewegung oder einer erneuten Verletzung hinzu.

Fazit: Die Hypothese 2 postuliert differenzierte Ergebnisse für die Parameter Kraft, Arbeit und Leistung für die verschiedenen Trainingsmethoden. Die Untersuchungsergebnisse liefern jedoch keine ausreichenden Belege für eine klare Bestätigung dieser Hypothese. Als Begründung hierfür sind apparative und methodische Schwächen zu nennen. So konnten die Parameter nur sehr unzureichend bestimmt werden, da die Geräte nicht über die erforderlichen Messapparaturen für die Bestimmung aller eine Bewegung charakterisierenden Größen verfügten. Hierzu zählen u.a. Kraftaufnehmer für Kraft-Zeit-Verläufe, EMG-Messungen, Atemgasanalysen sowie die exakte Messung der jeweiligen Bewegungsabläufe, um individuellen Stereotypen (individueller Einsatz ggf. unterschiedlicher Muskelgruppen) gerecht werden zu können. Eine zusätzliche Verfälschung der Daten ist darauf zurückzuführen, dass die Trainingsmethoden in Hinblick auf den Parameter „Intensität“ nicht exakt eingehalten werden konnten. Dies lag zu einen an den Maximalkrafttests (s.u.), zum anderen wiederum an den benutzten Geräten, die eine exakte Intensitätseinstellung (in % F_{max}) aufgrund zu grober Gewichtseinstellungen nicht ermöglichten.

Die Hypothese 2a postuliert eine exakte Einstellung des Parameters „Intensität“ mittels der Maximalkrafttests EWM und LWV. Die Untersuchungen zeigen jedoch, dass z. T. große Unterschiede zwischen Testergebnissen bestehen. Es wurde die Tendenz

festgestellt, dass das LWV häufig höhere F_{max} -Werte liefert als das EWM. Als Ursachen für die damit unumgängliche Ablehnung der Hypothese kommen eine Reihe unterschiedlicher Faktoren in Frage, die u.a. mit der individuellen (psychischen wie auch physischen) Persönlichkeit der Probanden zusammenhängen. Hier sind neben der Motivation und Tagesformschwankungen auch Faktoren wie z. B. Gelenkwinkel und Muskelfasertypenverteilung zu nennen. Auch der allgemeine Trainingszustand kann eine Rolle spielen, da eine mehr oder weniger gute intermuskuläre Koordination ebenfalls Einfluss auf die unterschiedliche Bewältigung der Lasten bei den jeweiligen Krafttests hat. Deutlich wird dies durch die Tatsache, dass die Unterschiede zwischen LWV und EWM um so größer waren, je mehr Muskelgruppen koordiniert werden mussten. Die Ergebnisse machen deutlich, dass – wie bei Hypothese 2 – mittels gut ausgerüsteter Trainingsgeräte die Fehlerquellen, mit Ausnahme der psychischen Faktoren, Großteils minimiert werden können. Erst auf der Basis einer Untersuchung, bei der alle eine Bewegung bestimmenden und charakterisierenden Größen gemessen werden (s.o.), kann abschließend beurteilt werden, ob und inwieweit die Maximalkrafttests EWM und LWV die exakte Einstellung des Parameters „Intensität“ erlauben.

7.2 BIOCHEMISCHE ANALYSEN

7.2.1 Darstellung der Ergebnisse

Ausgangspunkt der Untersuchungen war die Frage, ob Myoglobin und/oder H-FABP zur Belastungssteuerung im Krafttraining herangezogen werden können, bzw. ob sie ähnlich wie CK geeignete Instrumente der Belastungsdiagnostik sind. Weiterhin war von Interesse, ob die beiden Parameter Anpassungserscheinungen im Trainingsverlauf abbilden können. Wie bereits dargelegt, liefern die Ergebnisse aufgrund der Konzeption der ganzen Studie lediglich (qualitative) Anhaltspunkte zur Beantwortung dieser Fragen.¹⁷³

Wie in Kap. 6.6 ausgeführt, liegen keine aussagekräftigen Daten für die Urindiagnostik vor. Daher beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf die Auswertung der Plasmaproben, wobei die vor der Belastung entnommenen Proben mit P1, die nach der Belastung entnommenen Proben mit P2 bezeichnet werden.

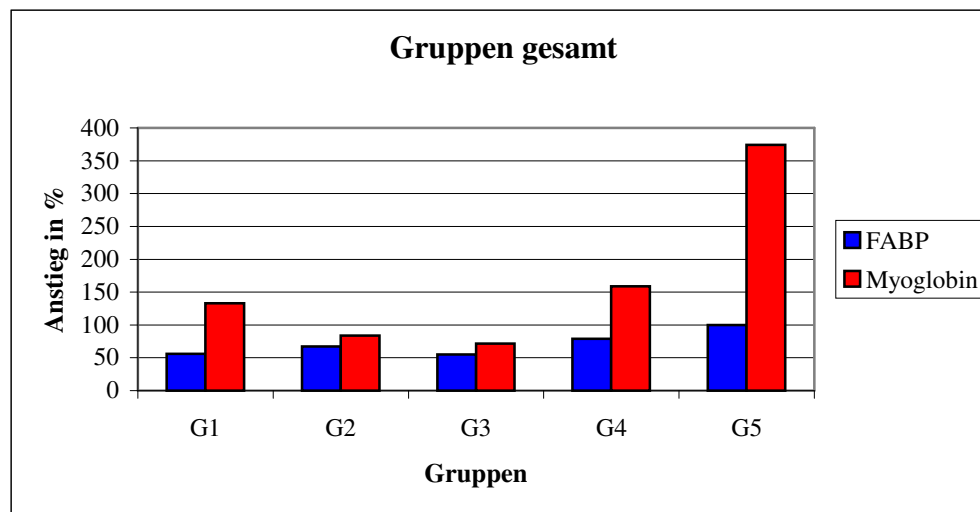


Abb. 7.5: Prozentualer Anstieg der Proteinkonzentrationen im Serum nach Belastung.

Bei der Auswertung der Daten ist in fast allen Proben ein Anstieg beider Proteine im Plasma im Anschluss an die Belastung festzustellen.¹⁷⁴ Der Trend ist sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen in allen Gruppen deutlich erkennbar, wobei Myoglobin und H-FABP unterschiedlich stark reagieren.

¹⁷³ Vgl. Kap. 6.1 und 6.3.

¹⁷⁴ Lediglich in 5 von 90 Proben sank der H-FABP- bzw. Myoglobin-Gehalt im Plasma im Anschluss an die Belastung leicht ab.

Bei den Frauen steigt der Myoglobingehalt in allen Gruppen deutlich stärker an als der Gehalt an H-FABP, bei den Männern hingegen trifft dies nur auf die Gruppen G1, G4 und G5 zu. In der Gruppe G5 wird der sehr hohe Anstieg durch zwei extreme Ausreißerwerte (vgl. auch Tab. 7.4) verursacht, ohne diese Daten ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Gruppen G1 und G4. Weiterhin fällt auf, dass mit Ausnahme der Gruppe G4 sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen der prozentuale Anstieg von MB umgekehrt proportional zur Trainingsintensität ist; H-FABP lässt diesbezüglich keine Tendenz erkennen. Zwar gibt die Grafik den allgemeinen Trend deutlich wieder, jedoch ist nicht ersichtlich, dass sowohl die Ruhe- als auch die Postbelastungswerte z. T. individuell stark variieren. Dies schlägt sich u.a. in hohen Standardabweichungen und Variabilitätskoeffizienten nieder.

Im Vergleich der Gruppen wird deutlich, dass MB in der Gruppe G5 die höchsten Postbelastungswerte erreicht, wobei vor allem bei den Männern die Werte eine individuell sehr starke Streuung aufweisen. H-FABP hingegen zeigt in der Gruppe G5 (bei den Männern wie auch bei den Frauen) sowohl die niedrigsten Ruhe- als auch Postbelastungswerte.

Um die vorliegenden Daten besser einordnen zu können, wurden für beide Parameter mittels der zweifachen Standardabweichung Normbereiche der Prä- und Postbelastungswerte erstellt, die jedoch keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit haben (vgl. Kap. 6.3).

		H-FABP (ng/ml)		Myoglobin (ng/ml)	
N		Ruhe	Postbelastung	Ruhe	Postbelastung
66	männl.	0,30-1,81	< 3,66	4,14-40,25	< 113,60
24	weibl.	0,13-1,57	< 2,37	5,82-32,18	< 103,72

A

		H-FABP (ng/ml)		Myoglobin (ng/ml)	
N		Ruhe	Postbelastung	Ruhe	Postbelastung
47	männl.	0,31-1,87	< 3,84	2,14-43,64	< 126,15
19	weibl.	0,15-1,67	< 2,38	5,17-33,05	< 108,41

B

Tab.7.2: Normwerte für Ruhe und Postbelastung für die Proteine Myoglobin und H-FABP; (A): alle ermittelte Daten; (B): nur die Daten, an denen kein Muskelkater aufgetreten war.

Dabei wurden zum einen alle Ergebnisse herangezogen (Abb. 7.2A); zum anderen wurden in der Annahme, dass die durch Muskelkater verursachten Schädigungen des

Muskelgewebes zu einem zusätzlichen Austreten der Proteine führen könnten, alle diejenigen Daten aussortiert, an denen die Probanden am Tag nach der Probenahme Muskelkater bekommen hatten (Abb. 7.2B).¹⁷⁵

Der Gegenüberstellung der beiden Tabellen zeigt, dass die Unterschiede sehr gering sind. Demnach scheint sich Muskelkater in Form eines vermehrten Austritts von Myoglobin und/oder H-FABP in den sofort im Anschluss an die Belastung entnommenen Plasmaproben nicht niederzuschlagen. Nur in einem Fall (bei n=90) war eine Übereinstimmung zwischen dem Auftreten von Muskelkater und dem Überschreiten des Normwertes aufgetreten.

Die Ruhewerte für Myoglobin entsprechen grob den verschiedenen in der Literatur zu findenden Normwerten von ca. 0-80 $\mu\text{g/l}$, die Postbelastungswerte liegen nur wenig über den Daten, die von MALEWSKI et al. in ihren Untersuchungen beim Krafttraining gemessen wurden.¹⁷⁶

Autor	Myoglobin ($\mu\text{g/l}$)	H-FABP ($\mu\text{g/l}$)
PELSERS et al. (1999)	27 (20-36)	1,5 (1,1-2,1)
GHANI et al. (2000)	30,5 (9,96-67,5)	4,27 (1,57-8,97)
OKAHURA et al. (1995)	/	3,65 \pm 1,81
GLATZ et al. (1998)	32,8 \pm 14,0	2,1 \pm 1,1
MALEWSKI et al. (1985)	35 – 73 (in Ruhe)	/
MALEWSKI et al. (1985)	108,2 (nach Krafttraining)	/

Tab. 7.3: Zusammenstellung einiger Referenzdaten aus der Literatur für Myoglobin und H-FABP.

Die gemessenen Ruhewerte für H-FABP liegen in etwa in dem Bereich der Werte von PELSERS et al. und GLATZ et al., wobei auch die Unterschiede zwischen den Geschlechtern mit den Daten von PELSERS et al. vergleichbar sind.¹⁷⁷ Im Gegensatz dazu sind die von GHANI et al. sowie von OHKARU et al. ermittelten Daten deut-

¹⁷⁵ Muskelkater (engl. DOMS: delayed onset muscle soreness) beruht auf kleinsten Verletzungen des Muskelgewebes bzw. dadurch ausgelöste reaktive Entzündungen, die u. a. mikroskopisch sichtbare Schädigungen der Myofibrillen im Bereich der Z-Streifen, ödematöse Schwellungen sowie Membranschädigungen hervorrufen können.

Der erst verspätet auftretende Schmerz, ist ein Hinweis darauf, dass er die Folge auf Reaktionen ist, die mehr Zeit beanspruchen. Schmerzauslöser ist vermutlich u.a. der durch kleinemolekulare Metabolite verursachte erhöhte Gewebedruck sowie eine Mangel durchblutung (vgl. BÖNING, 2000, 63ff).

¹⁷⁶ Vgl. u. a. LANGER et al. (1985) und MALEWSKI et al. (1985, 407). Für Herzinfarkte wird von der Universitätsklinik Heidelberg als Referenzwert <55 ng/ml angegeben (www.ma.uni-heidelberg.de/inst/ikc/proteine.htm), während die Universität Essen einen Bereich von 0 – 90 mg/l vorschlägt (www.uni-essen.de/cardio/fall/case2/case2.htm).

¹⁷⁷ Vgl GLATZ et al. (1998), PELSERS et al. (1999) sowie CHEN, I.W. et al (1980).

lich höher, wobei die Standardabweichungen in allen Untersuchungen ähnlich hoch liegen.¹⁷⁸

Gruppe	N		H-FABP (ng/ml)		Myoglobin (ng/ml)	
			P1	P2	P1	P2
G1	12	X	1,12	1,70	21,77	50,16
		S	0,32	0,91	3,88	17,92
		V	28,32	53,23	17,79	35,71
G2	6	X	0,97	1,86	18,43	31,86
		S	0,41	1,51	2,54	17,68
		V	41,68	80,79	13,76	55,48
G3	12	X	0,96	1,46	18,98	27,51
		S	0,36	0,54	4,66	9,94
		V	37,91	36,72	24,56	36,12
G4	26	X	1,08	1,93	24,74	69,09
		S	0,41	1,12	12,12	43,15
		V	38,01	57,93	48,79	62,45
G5	10	X	0,38	0,56	38,91	257,09
		S	0,23	0,20	24,37	386,43
		V	61,42	35,28	62,63	150,31
Ges.	66	X	1,05	1,78	22,19	49,04
		S	0,38	0,94	9,03	32,28
		V	35,84	53,04	40,69	65,83

a

Gruppe	N		H-FABP (ng/ml)		Myoglobin (ng/ml)	
			P1	P2	P1	P2
G1	12	X	0,81	1,25	19,19	47,36
		S	0,20	0,53	7,94	36,62
		V	24,57	4,16	41,36	77,33
G2	4	X	0,90	1,28	15,61	32,36
		S	0,55	0,40	4,75	20,77
		V	60,86	31,40	30,41	64,18
G3	5	X	1,13	1,64	21,77	43,23
		S	0,41	0,34	4,02	16,14
		V	30,60	20,02	18,44	37,33
G5	3	X	0,33	0,86	17,72	61,17
		S	0,12	0,47	9,95	24,14
		V	35,38	54,59	56,20	39,45
Ges.	24	X	0,85	1,31	19,00	45,06
		S	0,36	0,53	6,59	29,33
		V	42,35	40,45	34,68	65,09

b

Tab. 7.4.: Die Mittelwerte (mit Standardabweichung und Variabilitätskoeffizient) der Prä- und Postbelastungswerte für Myoglobin und H-FABP in den einzelnen Gruppen für Männer (a) und Frauen (b).

Beim Vergleich der Tab. 7.4 mit den Normwerten wird erkennbar, dass mit Ausnahme der Postbelastungsmittelwerte für MB der Männer aus Gruppe G5 (alle Da-

¹⁷⁸ Vgl. OHKARU et al. (1995) und GHANI et al. (2000).

ten) alle Mittelwerte innerhalb der Normbereiche liegen. Die Grenzüberschreitung in der Gruppe G5 resultiert vor allem aus zwei extrem hohen Ausreißerwerten, die um ein Sieben- bzw. Zehnfaches über dem Normwert liegen.

Die Häufigkeit aller über den Grenzwerten liegenden Messdaten sind in den Gruppen nicht gleichmäßig verteilt; die Daten sind, mit Ausnahme der o. g. Ausreißerwerte, zumeist nur geringfügig, maximal um das Zweifache erhöht.

Auffällig ist das häufige Überschreiten der Grenzwerte für Myoglobin sowohl in Ruhe als auch nach der Belastung in der Gruppe G5, alle anderen Gruppen zeigen nur wenige Übertretungen, wobei allein in der Gruppe G4 für beide Proteine erhöhte Ruhewerte gemessen wurden.

Gruppe	Myoglobin		H-FABP	
	Ruhe	Postbelastung	Ruhe	Postbelastung
G1 (n=24)	1	1	0	2
G2 (n=10)	0	0	0	1
G3 (n=17)	0	0	1	0
G4 (n=26)	2	1	1	1
G5 (n=13)	5	4	0	0

Tab.7.5: Anzahl der Messwerte in den verschiedenen Gruppen, bei denen die berechneten Normwerte überschritten wurden.

Für die Untersuchung war zudem von Interesse, ob sich im Verlauf des Trainings Anpassungserscheinungen des Körpers auf die Belastung anhand der Proteinausschüttung nachweisen lassen. Hierzu wurden bei einigen Probanden Proben jeweils zu Beginn sowie Ende eines zweiwöchigen Trainingsabschnittes genommen, innerhalb dessen die Trainingsgewichte konstant gehalten wurden. Nach diesen Trainingsabschnitten wurde die Belastung an die zumeist gestiegene Kraft angepasst, d. h. die Gewichte wurden erhöht, um die jeweils gewählte Trainingsintensität wieder zu erreichen (vgl. Kap. 6.1.4). Für die Patienten war dieses Vorgehen aufgrund der durch den Genesungsprozess z. T. öfter wechselnden Belastung und Geräteauswahl in der oben angegebenen Form leider nicht möglich (vgl. auch Kap. 6.1.2 und 6.1.4). Die Darstellung der Daten im Zeitverlauf ergibt für die verschiedenen Gruppen kein konsistentes Bild, auch wenn einige der ermittelten Kurven den erwarteten Verlauf in Form von Anpassungserscheinungen aufweisen. In den verschiedenen Diagrammen der Abb. 7.6 ist in unterschiedlich starker Ausprägung für Myoglobin und/oder für H-FABP ein Kurvenverlauf erkennbar, der auf eine Anpassung des Körpers an einen

Belastungsreiz schließen lässt. Die Proteinausschüttung sinkt zum Ende einer gleichbleibenden Belastung ab und steigt mit dem neuen (erhöhten) Belastungsreiz wieder an. Während die Kurven aus der Gruppe G2 für beide Parameter einen annähernd gleichen Verlauf aufweisen, ergibt sich bei den Probanden der Gruppen G3 und G4 nur für H-FABP ein diesbezüglich charakteristischer Kurvenverlauf, bei dem Probanden der Gruppe G1 lassen hingegen weder Myoglobin noch H-FABP einen dementsprechenden Trend erkennen.

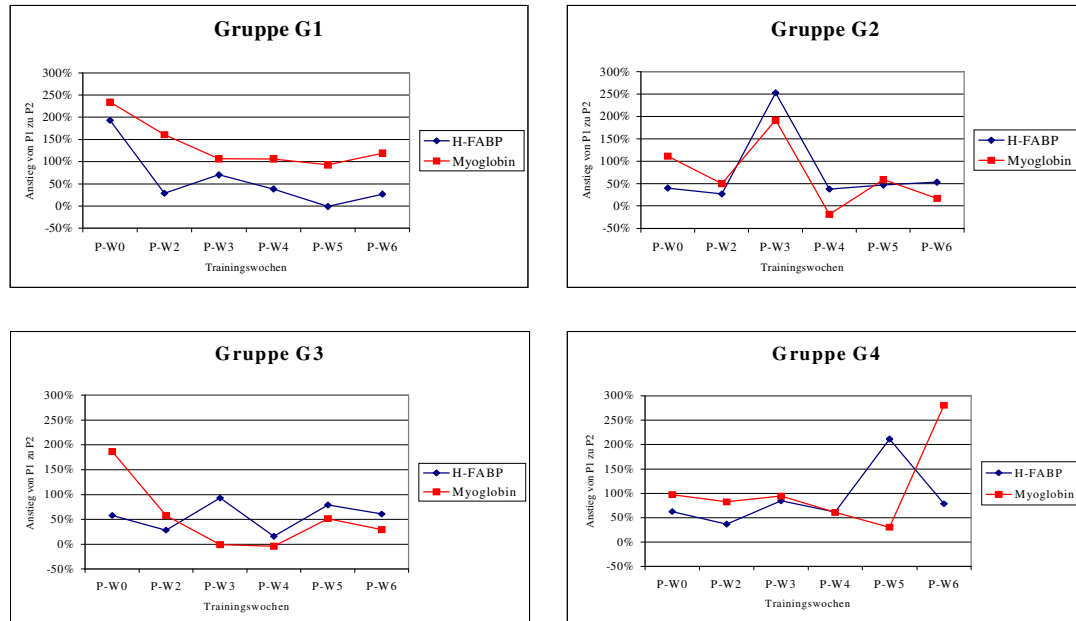


Abb.7.6: Die prozentualen Proteinanstiege nach der Belastung im Trainingsverlauf für einzelne Probanden der Gruppen G1 bis G4.

Auffällig ist, dass mit Ausnahme der Gruppen G2 und, mit Einschränkungen, G4, die Kurven für MB und H-FABP z. T. recht deutliche Unterschiede aufweisen und in einigen Fällen sogar diametral verlaufen, wie es beim Probanden der Gruppe G3 fast durchgängig zu beobachten ist. Der unterschiedliche Verlauf der Kurven scheint ein Hinweis darauf zu sein, dass die beiden Proteine individuell unterschiedlich auf Belastung reagieren.

Bei den Kurvenverläufen wird noch ein anderes Phänomen sichtbar, nämlich ein Abfall der Postbelastungswerte unter die zuvor bestimmten Ruhewerte. Dies trifft in den verschiedenen Gruppen sowohl für Myoglobin, als auch für H-FABP zu; interessant ist jedoch, dass in keinem Fall beide Proteine gemeinsam betroffen sind.¹⁷⁹

¹⁷⁹ Insgesamt sinken die Postbelastungswerte bei 90 Proben in 8 Fällen unter die Ruhewerte (5 X H-FABP, 3 X Myoglobin).

7.2.2 Erörterung der Ergebnisse

Hinsichtlich der aufgestellten Hypothesen ist die erste entscheidende Feststellung, dass sowohl Myoglobin als auch H-FABP in allen Gruppen nach Belastung einen mehr oder weniger hohen (qualitativen) Konzentrationsanstieg im Plasma erkennen lassen, somit also ähnlich wie Creatinkinase Indikatoren für Muskelmembranveränderungen und/oder Muskelschädigungen zu sein scheinen.¹⁸⁰

Damit ist ein wesentlicher Punkt der Hypothese 1 bestätigt, nämlich die Eignung der Parameter zur Diagnose von Belastungen. Noch nicht geklärt ist jedoch, ob damit eine sinnvolle Belastungssteuerung möglich ist (zweiter Teil der Hypothese).

Aufgrund ihrer geringeren Molekülgröße gelangen beide Proteine schneller in die Blutbahn als CK, so dass sie vor allem für spezifische (tägliche) Belastungsdiagnostik in Frage kommen.¹⁸¹ Die beiden Proteine zeigen jedoch kein einheitliches Verhalten.

Der prozentuale Myoglobinanstieg ist sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen umgekehrt proportional zur Belastungsintensität, eine Tatsache, die zunächst etwas verwundert. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Mb-Konzentration nicht nur durch die Ausscheidung aus der Muskelzelle bestimmt wird, sondern ebenso über den Transport in den Kreislauf sowie die Eliminationsrate. Die Ausscheidung aus der Zelle wiederum ist abhängig von der Größe und Art der Schädigung sowie der Zahl der betroffenen Zellen.¹⁸² Die Frage ist also, wodurch die Schädigungen der Muskelzellen (-membranen) hervorgerufen werden. Betrachtet man z.B. die Zeit, bzw. die Anzahl der Wiederholungen und Übungen, welche die verschiedenen Gruppen absolvieren mussten, fällt auf, dass die Mb-Konzentration dort am höchsten ansteigt, wo das Training die meiste Zeit beanspruchte bzw. wo die meisten Wdh. geleistet wurden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass der prozentuale Myoglobinanstieg stärker von der Belastungsdauer als von der Intensität beeinflusst wird.¹⁸³

Hieraus wäre u.a. der Schluss zu ziehen, dass Schädigungen bereits bei relativ geringen Belastungen auftreten und mit steigender Intensität nicht übermäßig zunehmen.

Diese Schlussfolgerung würde bedeuten, dass mittels Myoglobin vor allem die Belastungsdauer gesteuert werden kann, aber eine zu hohe oder zu niedrige Belastungs-

¹⁸⁰ Vgl. z.B. NØRREGAARD HANSEN et al (1982), MALEWSKI/BARWICH/WEICKER (1985), LANGER et al. (1985), GOODMAN et al. (1997), SORICHTER et al. (1998), SORICHTER/PUSCHENDORF/MAIR (1999).

¹⁸¹ Vgl. LANGER et al. (1985,403).

¹⁸² Vgl. LANGER et al. (1985,402).

¹⁸³ Vgl. z. B. MALEWSKI/BARWICH/WEICKER (1985, 408).

intensität nur bedingt erkennbar ist. Inwieweit dies zu einer sinnvollen Belastungssteuerung im Krafttraining ausreicht, ist fraglich.

Eine mögliche Ursache für die Abhängigkeit des Myoglobingehalts von der Belastungsdauer könnte sein, dass es durch längere Belastungsdauer durch den stetig steigenden physiologischen Zellumsatz zu einem erhöhtem Abbau überalterter oder vorgeschädigter Zellen kommt, wodurch verstärkt Mb austräte.¹⁸⁴ Auch könnten mit zunehmender Dauer aufgrund einer wachsenden Erschöpfung kritischer Substanzen (z. B. Glykogen) vermehrt Muskelschädigungen oder Veränderungen der Zellmembranen auftreten oder die Zellmembranpermeabilität wird durch die Anwesenheit freier Radikaler erhöht.¹⁸⁵ Beides würde zu steigenden Myoglobinausscheidungen führen. Zudem könnte bei langer Belastungsdauer und ungenügender Flüssigkeitszufuhr die renale Elimination evtl. leicht beeinträchtigt werden, wodurch der MB-Gehalt im Blut länger erhöht bliebe.

Eine vorgeschädigte Muskulatur könnte auch Grund für die vor allem in der Gruppe G5 auftretenden überhöhten Ruhewerte darstellen, wobei die Frage offen bleibt, ob die Muskulatur durch das letzte, ein bis zwei Tage zurückliegende Krafttraining vorgeschädigt wurde oder durch die im Rahmen der Therapie direkt vor dem Krafttraining durchgeführten Anwendungen (wie z. B. Krankengymnastik, Aquajogging und/oder Massage). Die Produktion extrem hoher Postbelastungswerte durch überhöhte Vorstartwerte wurde auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen.¹⁸⁶

Weiterhin bietet eine vorgeschädigte Muskulatur auch eine Erklärung für die zwei extrem hohen Postbelastungswerte der Gruppe G5, denn in beiden Fällen lag bereits der Ruhewert deutlich (bis um das doppelte) über den Normwerten. Geht man davon aus, dass die direkt vorangegangenen Anwendungen zur Myoglobinausschüttung geführt haben, ist zusätzlich zu bedenken, dass zum Zeitpunkt der ersten Probenahme vor dem Krafttraining der Ausscheidungsspeak noch gar nicht erreicht war, d.h. die Patienten begannen evtl. bereits mit einem über dem gemessenen Ruhewert liegenden Myoglobingehalt das Training. Vorangegangene Belastungen gleich welcher Art oder kleine Traumen könnten auch dazu geführt haben, dass in einigen Fällen die Postbelastungswerte unter die Ruhewerte gesunken sind. Dies wäre dann möglich, wenn der Ausscheidungsspeak genau bei der ersten Probenahme lag und die Belastung des Krafttrainings so gering war, dass die Eliminationsrate größer war als die Ausschwemmungsrate.

¹⁸⁴ Vgl. EBBELING/CLARKSON (1989, 228) und MALEWSKI/BARWICH/WEICKER (1985, 409).

¹⁸⁵ Vgl. NØRREGAARD HANSEN et al (1982,185) und GOODMAN et al. (1997, abstract).

¹⁸⁶ Vgl. LANGER et al. (1985) und MALEWSKI et al (1985).

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass z. B. Zeitpunkt und Höhe von MB-Ausscheidungen von der Art und Dauer der Trainingseinheit abhängen können.

Während Ausdauertraining oder Bergabläufe einen Mb-Peak nach ein bis zwei Stunden hervorruft, erreicht die Ausschwemmung von Myoglobin bei exzentrischen Übungen erst nach zwei bis vier Tagen ihren Höhepunkt.¹⁸⁷ Nach erschöpfenden isometrischen Krafteinsätzen schließlich wurde in einigen Fällen ein zweifacher Mb.-Peak beobachtet, nämlich zum einen ca. eine Stunde nach Belastungsende und dann ein erneuter Anstieg nach zwei Tagen.¹⁸⁸ In Hinblick auf die Clearance-Rate der Proteine ist zudem zu berücksichtigen, dass die individuellen Unterschiede hier sehr groß sein können (Variationen für Mb und H-FABP von 0,4 – 2,4 Stunden).¹⁸⁹ Für die vorliegende Studie könnte dies bedeuten, dass bei der Postbelastungsprobenahme ggf. nicht immer der maximale Ausscheidungspeak getroffen wurde, was zu erheblichen Abweichungen geführt haben könnte.

Eine je nach Trainingsart und -dauer sich ändernde Ausscheidungskinetik ist in Hinblick auf die Hypothese 1b zu berücksichtigen, nach der die Parameter unabhängig von Trainingsmethode und –mittel zuverlässige Indikatoren der Belastungsdiagnostik sind. Hier muss im Vorfeld jeder Nutzung von MB zur Belastungssteuerung klar ersichtlich sein, welche Ausscheidungskinetik für die jeweils eingesetzte Trainingsmethode zutrifft, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Vor allem bei im Kraftsport ungeübten Personen aus dem rehabilitativen oder freizeitsportlichen Bereich ist zudem zu bedenken, dass die Kraftübungen häufig nicht korrekt ausgeführt werden und es dementsprechend auch zum Einsatz unnötiger Muskelgruppen und Kontraktionen (z.B. exzentrischer Art) kommen kann. Da diese Fehlerquellen ohne den Einsatz von EMG-Messungen bzw. entsprechend gut ausgerüsteter Trainingsgeräte (vgl. Kap. 7.1) nicht immer ersichtlich sind, kann es hier zu unerkannten Messfehlern in der Proteindiagnostik kommen. Zudem erschwert auch die weite individuelle Streuung der Clearance-Rate der Proteine eine exakte Belastungsdiagnostik, da nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob der Zeitpunkt der Blutentnahme jeweils genau mit dem Ausscheidungspeak der Proteine zusammentrifft. Für die Ergebnisse dieser Studie kann aufgrund der nicht genau bekannten Ausscheidungskinetik für die verschiedenen Trainingsmethoden sowie den durch die im Krafttraining produzierten Fehlerquellen die Hypothese 1b nicht eindeutig bestätigt werden, jedoch ist nicht

¹⁸⁷ Vgl. z. B. LANGER et al. (1985), SUZUKI et al. (1999) und CLARKSON/NOSAKA/BRAUN (1992)

¹⁸⁸ LORENZ et al. (1992, 100)

¹⁸⁹ Vgl. DE GROOT et al. (1999).

auszuschließen, dass eine Annahme dieser Hypothese mit einem geeigneten Versuchsdesign möglich ist.

Untersuchungen von JANNSON et al. zeigen, dass der Myoglobingehalt in der Skelettmuskulatur nach einer längeren Immobilisationsphase um 16% ansteigt.¹⁹⁰ Dies könnte bedeuten, dass bei den Patienten der Gruppe G5 ggf. auch ein erhöhter MB-Gehalt in der Muskulatur vorhanden gewesen sein könnte, je nachdem, ob und inwieweit sie vor dem Beginn der Studie immobilisiert waren. Fraglich bleibt dabei jedoch, ob diese Tatsache Einfluss auf den MB-Gehalt im Blut hat, sei es vor oder nach der Belastung.

Im Gegensatz zu Myoglobin zeigt H-FABP außer einer generellen Zunahme im Anschluss an die Belastungen kaum Regelmäßigkeiten, weder hinsichtlich der Gruppen noch im Vergleich zwischen Männern und Frauen.

Diese Ergebnisse lassen für den Parameter H-FABP nur den Schluss zu, dass er in der vorliegenden Studie mit den eingesetzten Trainingsmitteln und -methoden nicht zur Belastungssteuerung geeignet ist. Damit kann der zweite Teil der Hypothese 1 für den Parameter H-FABP nicht bestätigt werden.

Die einzige deutliche Übereinstimmung sind die vergleichsweise niedrigen Ruhe- als auch Postbelastungswerte sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen der Gruppe G5. Hier ist zu überlegen, ob die bei allen Patienten vorangegangene Verletzung, Operation und/oder Immobilisation Einfluss auf das Ausgangsniveau oder die Ausscheidungskinetik von H-FABP hatte.

So konnte z. B. nachgewiesen werden, dass Ausdauertraining bei Ratten den Gehalt von FABP_{PM} in den roten Muskelfasern erhöht.¹⁹¹ Dementsprechend könnte der FABP_{PM}-Gehalt bei gänzlich Untrainierten (Patienten) geringer sein als bei den gesunden Probanden, die zum großen Teil zumindest leicht ausdauertrainiert waren. Untersuchungen von ZONDERLAND et al. hingegen deuten darauf hin, dass der Gehalt von H-FABP durch Ausdauertraining (an Ratten) lediglich in der Herzmuskulatur ansteigt, nicht aber in der Skelettmuskulatur.¹⁹² Der Einfluss von Immobilisation auf den H-FABP-Gehalt in der Muskulatur wurde bislang noch nicht untersucht.

Denkbar ist z. B. auch die Existenz von H-FABP-Inhibitoren, die eine Unterschätzung des wahren H-FABP-Gehalt im Blut hervorrufen. Für Creatinkinase konnten

¹⁹⁰ Vgl. JANNSON et al. (1988).

¹⁹¹ Vgl. TURCOTTE et al. (1999).

¹⁹² Vgl. ZONDERLAND et al. (1999).

derartige Inhibitoren nachgewiesen werden, vor allem auch im Plasma von Patienten mit Muskelerkrankungen oder Muskelverletzungen.¹⁹³

Zu erwägen ist auch die Möglichkeit, dass sich bei den Patienten aufgrund der Operation und/oder Immobilisation die Ausscheidungskinetik für H-FABP dahingehend verändert hat, dass die Clearance-Rate im Vergleich zu gesunden Probanden gestiegen ist. Dies hätte einen insgesamt niedrigeren H-FABP-Spiegel im Blut zur Folge.

Für Creatinkinase konnte beispielsweise eine Unterscheidung in „Low CK Responder“ und „High CK Responder“ festgestellt werden, wobei nicht geklärt ist, ob der unterschiedlich hohe CK-Gehalt im Blut durch Präadaptationen aufgrund vorangegangener anstrengender, unspezifischer Tätigkeiten oder einfach aufgrund einer individuell geprägten unterschiedlich hohen Clearance-Rate zustande kommt.¹⁹⁴

Die sehr hohen Standardabweichungen und Variationskoeffizienten in allen Gruppen könnten ein Indiz dafür sein, dass die in dieser Studie auftretenden Unterschiede individueller Art sind. Hinweise auf große individuelle Unterschiede zeigen auch andere Studien. In den Untersuchungen von PELSERS et al. z. B. variieren die Ruhewerte von Myoglobin zwischen 15 und 36 $\mu\text{g/l}$, die Werte für H-FABP schwanken zwischen 0,6 und 2,1 $\mu\text{g/l}$. Die Autoren konnten zudem große Abweichungen im Verlauf mehrerer Wochen feststellen. So schwankten die Werte für H-FABP innerhalb von 57 Tagen um 14%, der Myoglobingehalt veränderte sich in diesem Zeitraum um 18%.¹⁹⁵

Einen Anhaltspunkt auf große individuelle Unterschiede liefert auch die Untersuchung von NOSAKA/CLARKSON/APPLE. In dieser Studie, die mit kurzzeitigen maximalen exzentrischen Übungen arbeitet, treten die maximalen Myoglobin-Peaks erst nach 3-4 Tagen auf und variieren zwischen 470 und 3000 mg/ml.¹⁹⁶ Als mögliche Ursache für die verzögerte Ausscheidungskinetik werden u. a. zeitverzögert auftretende Zellnekrosen oder ein aufgrund von Ödemen blockierter Ausscheidungsweg angenommen.¹⁹⁷ Die Autoren gehen davon aus, dass Muskelschäden nur bei exzentrischen, nicht jedoch bei rein konzentrischen Tätigkeiten auftreten. Wenn diese Annahme richtig ist, stellt sich die Frage, mit welchem Kraftaufwand die einzelnen Probanden bei den verschiedenen Kraftübungen in der für Muskelzellschädigungen verantwortlichen exzentrischen Phase gearbeitet haben oder ob andere Mechanismen

¹⁹³ Vgl. EBBELING/CLARKSON (1989,224f).

¹⁹⁴ Vgl. CLARKSON/NOSAKA/BRAUN (1992, 517f).

¹⁹⁵ Vgl. PELSERS et al. (1999).

¹⁹⁶ Vgl. NOSAKA/CLARKSON/APPLE (1992, 185).

¹⁹⁷ Vgl. NOSAKA/CLARKSON/APPLE (1992, 187f).

bzw. Schädigungen (z. B. der Zellmembran) für die Proteinausschüttung verantwortlich sind.

Erhöhte Muskelproteinausschüttungen wurden z. B. sowohl bei isometrischen Kraftübungen als auch bei eher konzentrische Muskelbeanspruchung fordernden Ausdauersportarten wie Radfahren (Fahrradergometer), Rudern oder Schwimmen beobachtet.¹⁹⁸ GOODMAN et al. konnten nachweisen, dass nach einem 21 km langen Lauf die Plasma-Werte für CK und MB deutlich ansteigen, obwohl ultrastrukturelle Untersuchungen des Muskelgewebes im lateralen Gastrocnemius 24 Stunden nach dem Lauf keine Anzeichen für Muskelschädigungen anzeigen.¹⁹⁹ Der Protein Austritt hängt in diesem Fall vermutlich mit Schädigungen der Zellmembranen und einer damit einhergehenden Permeabilitätssteigerung zusammen. Untersuchungen mit Creatinkinase haben gezeigt, dass Training zu einer Stabilitätsverbesserung der Muskelzellmembranen führt, wodurch der Austritt von CK vermindert wird. So erhöht sich durch Training u.a. Größe und Anzahl der Mitochondrien, wodurch mehr ATP zur Erhaltung der Zellmembranen zur Verfügung steht.²⁰⁰ Die aufgrund der Übungen auftretenden Verletzungen können zudem als Stimulus für eine neue Kollagensynthese dienen. Selbst wenn die Trainingseinheiten zu schnell aufeinander folgen und somit zu immer neuen Verletzungen führen, stellt dies kein Hindernis für Muskeladaptation bzw. eine Membranstärkung dar.²⁰¹

Diese Faktoren sollten im Verlauf des Trainings zu einer geringer werdenden Proteinausschüttung führen, zumindest in Hinblick auf eine gleichbleibende Belastung.

Bei der Interpretation der Daten sind ggf. auch individuelle Faktoren wie z. B. das Verhältnis der Muskelfasertypen oder aber auch die Ernährung auf die Ausscheidung der beiden Proteine zu berücksichtigen. In Versuchen mit Ratten konnte beispielsweise ein Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Muskelfasertyp nachgewiesen werden. So war der Anteil an H-FABP in roten Muskelfasern 7,6-fach höher als in weißen Fasern.²⁰² Den Einfluss der Ernährung auf den H-FABP-Gehalt zeigt eine Studie von KEMPEN et al., in welcher der Anteil von H-FABP in der Skelettmuskulatur infolge einer Diät deutlich anstieg.²⁰³

¹⁹⁸ Vgl. u.a. NØRREGAARD HANSEN et al (1982), LANGER et al. (1985), und MALEWSKI/BARWICH/WEICKER (1985).

¹⁹⁹ Vgl. GOODMAN et al. (1997).

²⁰⁰ Vgl. EBBELING/CLARKSON (1989,226).

²⁰¹ Vgl. EBBELING/CLARKSON (1989,229).

²⁰² Vgl. BONEN et al. (1998).

²⁰³ Vgl. KEMPEN et al. (1998).

Ebenfalls könnten der allgemeine Trainingszustand bzw. andere, vor der Studie regelmäßig durchgeführte Sportarten und/oder die beruflichen Arbeitsbedingungen (sind es vorwiegend sitzende oder körperlich anstrengende Tätigkeiten) die Protein-kinetik beeinflussen. So ist z. B. die Ausscheidung von Mb oder CK bei Untrainierten höher als bei Trainierten und auch einige berufliche oder sogar häusliche Tätigkeiten könnten ein Voradaptation hervorrufen.²⁰⁴

Allgemein ist erwiesen, dass nach einer ersten (hohen exzentrischen) Kraftübung erneut durchgeführte Kraftsätze nur wenige oder keine Muskelschäden mehr hervorrufen. Die Ursachen hierfür werden noch diskutiert, wobei es drei verschiedene Ansätze gibt, die in Abb. 7.7 dargestellt sind.²⁰⁵

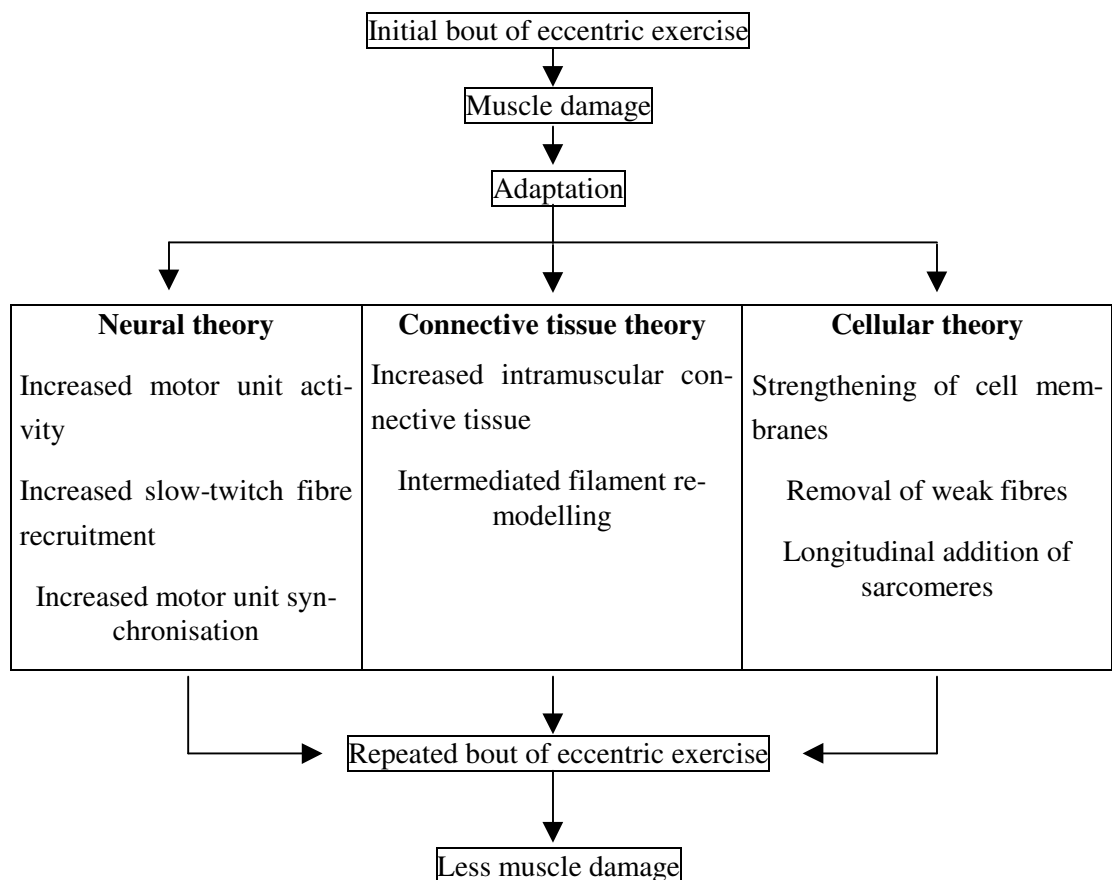


Abb.7.7: Mögliche Mechanismen zur Erklärung des sog. „repeated bout effects“ (aus: McHUGH et al. (1999, 168)).

²⁰⁴ Vgl. NØRREGAARD HANSEN et al (1982) und NOSAKA/CLARKSON/APPLE (1992).

²⁰⁵ Vgl. McHUGH et al. (1999).

Dieser sog. „Repeated Bout Effect“ tritt vermutlich (nur?) nach relativ hohen exzentrischen Übungen auf und dauert z. B. für die Ausscheidungsrate von Creatinkinase bis zu sechs Monaten an, geht jedoch nach neun bis zwölf Monaten verloren.²⁰⁶

Falls diese Adaptationen des Körpers auch bei einem „normalen“ Krafttraining auftreten, sollte es möglich sein, dies anhand der biochemischen Parameter festzustellen (zweiter Teil der Hypothese 1a).

Betrachtet man auf diesem Hintergrund die in Abb. 7.6 (S. 101) dargestellten Kurvenverläufe, zeigt sich für die Probanden der Gruppe G1 und G3 zumindest für Myoglobin der Effekt, dass die erste Trainingseinheit den höchsten Anstieg produziert hat, während die nachfolgenden Einheiten nur noch geringere Ausschläge hervorgerufen haben. Auch für den Probanden der Gruppe G4 trifft dies bedingt zu, lediglich die letzte Einheit fällt mit einem extrem hohen Peak aus der Reihe. Hier ist zu überlegen, ob der Proband an diesem Tag entweder besonders hart trainiert bzw. neue Übungen hinzugenommen hat, oder ob die hohe Myoglobinausschüttung vielleicht durch ein stumpfes Trauma (Bluterguss) oder eine Verletzung (Muskelzerrung o.ä.) hervorgerufen worden sein könnte.

Der Proband der Gruppe G2 schließlich erreicht den höchsten Mb-Wert erst in der Mitte der Studie und scheint insgesamt auf jede Belastungserhöhung mit einem erhöhtem Myoglobin- als auch H-FABP-Anstieg zu reagieren. Hier scheint deutlich zu sein, dass es keinen „Repeated Bout Effect“ gegeben hat. Vielmehr erreicht der Proband lediglich eine spezifische Anpassung (evtl. der Muskelzellmembranen?), die nicht ausreicht, um bei einer Belastungserhöhung einen erneuten hohen Proteinaustritt zu verhindern.

Für H-FABP ist der „Repeated Bout Effect“ in keiner der dargestellten Kurven offenkundig, lediglich für den Proband G1 ist eine Tendenz zu niedriger werdenden H-FABP-Ausscheidungen erkennbar. Dafür scheinen die Kurven der Gruppen G2, G3 und G4 eine kurzzeitige Anpassung an eine gegebene Belastung anzuzeigen (s.o.).

Es bleibt zu hinterfragen, ob der exzentrische Anteil der in dieser Studie durchgeführten Übungen überhaupt zu einem „Repeated Bout Effect“ geführt haben könnten, oder ob die in der Gruppe G2 bis G4 für Mb und/oder H-FABP beobachteten kurzfristigen Anpassungserscheinungen für das durchgeführte Krafttraining „typisch“ sind.

²⁰⁶ Vgl. NOSAKA et al. (2001).

In den Grafiken der Abb. 7.6 wird auch deutlich, dass es mehr oder weniger große Unterschiede zwischen den beiden Proteinen zu geben scheint. Auffällig ist, dass die Kurvenverläufe sowohl im Vergleich zwischen den Probanden als auch im Vergleich MB zu H-FABP unterschiedlich sind, d. h. es lässt sich keine konsistente Linie feststellen. Sind die parallel verlaufenden Kurven beim Probanden der Gruppe G2 die Regel oder entsprechen die nahezu diametral verlaufenden Kurven der Gruppe G3 dem „Normalfall“? Untersuchungen bei Patienten mit akutem Herzinfarkt zumindest zeigen ein annähernd gleiches Ausscheidungsverhalten von H-FABP und Myoglobin und auch hinsichtlich der Ausscheidung infolge von Muskelverletzungen (nach Belastungen) gibt es in der Literatur bislang keine Hinweise auf ein unterschiedliches Verhalten der beiden Proteine.²⁰⁷

Die Untersuchungsergebnisse lassen eine eindeutige Bestätigung der Hypothese 1a in Hinblick auf die Feststellung von Adaptationen auf gleichbleibende Belastungen nicht zu.

Fazit: Die Hypothese 1 geht davon aus, dass H-FABP und MB geeignete biochemische Parameter der Belastungssteuerung im Krafttraining sind. Zwar zeigen beide Parameter recht deutlich eine Belastung an, dennoch lassen die in der vorliegenden Studie ermittelten Daten keine einheitliche Interpretation zu, so dass die Hypothese 1 insgesamt nicht eindeutig bestätigt werden kann. Die Ursachen hierfür sind vielfältig, wobei neben z. T. noch nicht eindeutig bestimmbar individuellen Faktoren (wie z. B. die individuelle Clearance-Rate bzw. die Unterscheidung in „Low- oder High-Responder“) vor allem der durch die Trainingsmittel hervorgerufene ungenaue „Input“ eine wesentliche Rolle spielt (vgl. Kap. 7.1). Die bereits im Rahmen des Krafttrainings aufgetretenen Fehlerquellen sowie die nur unpräzise erfassten Parameter Kraft, Arbeit und Leistung lassen von vorneherein keine eindeutigen Ergebnisse bzw. Interpretationen der biochemischen Parameter zu. Dieser Punkt hat auch Auswirkungen auf die Hypothese 1b, nach der die beiden biochemischen Parameter unabhängig von den eingesetzten Trainingsmitteln und -methoden einsetzbar sind. Aufgrund der erwähnten apparativen Schwächen der Trainingsmittel und den daraus resultierenden Fehlerquellen hinsichtlich der Trainingsmethoden kann diese Hypothese bereits im Ansatz nicht bestätigt werden, da eine eindeutige Zuordnung der biochemischen Daten zu exakt definierten Trainingsmethoden nicht gewährleistet ist. Vor allem ist zu berücksichtigen, dass die individuellen Bewegungsmuster nicht erfasst werden konnten. Diese können ggf. erheblichen Einfluss auf die Ausschüttung

²⁰⁷ Vgl. z. B. GLATZ et al. (1997) und VAN NIEUWENHOVEN et al (1995).

der Parameter haben (z. B. in Hinblick auf Anzahl und Arbeitsweise der eingesetzten Muskeln bzw. Muskelgruppen).

Laut Hypothese 1a schließlich können MB und H-FABP sowohl kurzfristige Belastungen direkt im Anschluss an ein Krafttrainings als auch längerfristige Adaptationen anzeigen. Die Untersuchungsergebnisse liefern jedoch auch hier keine präzisen Befunde, die eine eindeutige Bestätigung dieser Hypothese zulassen. Zwar können kurzfristige Belastungen anhand ansteigender Proteingehalte im Blut nachgewiesen werden, nicht jedoch in jedem Fall eine längerfristige Adaptation.

Auch hier kommen wiederum die bereits angesprochenen Punkte des unzureichenden „Inputs“ durch die in der vorliegenden Studie angewendeten einfachen Trainingsmittel und -methoden zum Tragen.

Insgesamt muss vermutet werden, dass die Anhäufung mehrerer Faktoren bei der in dieser Studie ermittelten unterschiedlich hohen Ausschwemmung von H-FABP und Myoglobin eine Rolle spielen. Neben den apparativen und methodischen Schwächen hinsichtlich des Krafttrainings zählen hierzu u.a. die individuellen Voraussetzungen wie Muskelmasse und Muskelfasertypenbesatz, Beruf, Trainingszustand und Ernährung aber auch die individuelle Clearance-Rate bzw. die Unterscheidung in „Low- oder High-Responder“ zu. Vor allem diese individuellen Faktoren könnten Ursache für das unterschiedliche Verhalten von MB und H-FABP sein.

Entsprechend der Ergebnisse kann eine Belastungsdiagnostik im Krafttraining mittels der biochemischen Parameter MB und H-FABP nur dann erfolgversprechend sein, wenn die methodischen und apparativen Voraussetzungen für die Messung und Erfassung der im Krafttraining relevanten Größen gewährleistet sind (vgl. Kap. 7.1). Erst auf diesem Hintergrund kann der Frage nachgegangen, ob, und wenn ja inwieweit die anderen in der Erörterung angesprochenen und diskutierten individuellen Faktoren Einfluss auf eine gezielte Belastungssteuerung haben.

7.3 RPE-SKALA

7.3.1 Darstellung der Ergebnisse

Ausgewertet wurden die RPE-Werte für Lasten mit 50, 65 und 85% von Fmax bei den Gruppen G1, G2 und G3 sowie bei 45-55 und 60-65% Fmax für die Gruppe G5 bei den Geräten Dip, Latzug (Reha), Butterfly und Beinpresse.

In Tab. 7.6a sind die Mittelwerte der Gruppen G1, G2 und G3 für alle im Verlauf der Trainingsreihe erfolgten Belastungseinschätzungen (d. h. Vorversuch, Maximalkraftbestimmungen nach jeweils zwei Wochen und Abschlussuntersuchung) aufgeführt.

Gerät	Latzug			Dip			Butterfly			Beinpresse		
	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%
Gruppe G1 (n = 20)	2,0 ± 0,5	4,1 ± 0,89	7,8 ± 1,19	2,1 ± 0,82	4,5 ± 1,34	8,3 ± 1,44	3,0 ± 0,78	5,5 ± 1,32	8,1 ± 1,43	3,4 ± 1,27	6,1 ± 1,6	8,9 ± 1,35
Gruppe G2 (n = 12)	1,6 ± 0,29	3,3 ± 0,74	6,7 ± 0,73	1,9 ± 1,03	3,8 ± 1,35	7,6 ± 0,95	2,5 ± 0,73	4,4 ± 1,02	7,1 ± 1,09	3,0 ± 1,56	5,2 ± 1,71	8,4 ± 1,07
Gruppe G3 (n = 12)	1,5 ± 0,48	3,2 ± 0,8	6,2 ± 1,25	1,7 ± 0,99	3,3 ± 1,33	6,4 ± 1,63	2,4 ± 0,68	4,2 ± 1,05	7,2 ± 1,44	2,7 ± 1,25	4,6 ± 1,59	7,3 ± 1,76

a

Gerät	Latzug			Dip			Butterfly			Beinpresse		
	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%
Gruppe G1 (n = 15)	1,8 ± 0,47	4,0 ± 0,8	7,8 ± 1,24	2,1 ± 0,56	4,6 ± 1,14	8,3 ± 1,45	2,9 ± 0,74	5,3 ± 1,31	7,9 ± 1,37	3,0 ± 0,87	5,7 ± 1,31	8,6 ± 1,29
Gruppe G2 (n = 9)	1,5 ± 0,22	3,1 ± 0,61	6,6 ± 0,79	1,4 ± 0,27	3,0 ± 0,45	7,2 ± 0,74	2,3 ± 0,67	4,0 ± 0,67	6,8 ± 0,99	2,4 ± 0,62	4,6 ± 1,06	8,1 ± 0,79
Gruppe G3 (n = 9)	1,3 ± 0,32	2,9 ± 0,54	5,6 ± 0,8	1,2 ± 0,22	2,7 ± 0,63	5,6 ± 1,04	2,1 ± 0,35	3,9 ± 0,92	6,5 ± 1,12	2,1 ± 0,41	3,7 ± 0,64	6,3 ± 0,97
Gruppe G5 (n = 13)	2,2 ± 0,6	2,7 ± 0,7		2,3 ± 0,4	2,8 ± 0,5		2,6 ± 0,5	3,3 ± 0,5		3,5 ± 0,2		

b

Tab. 7.6: Die persönliche Belastungseinschätzung (RPE-Skala) der Gruppen G1, G2, G3 und G5 (jeweils Mittelwerte) bei unterschiedlichen Lasten (50, 65 und 85% von Fmax), (a) unter Einbeziehung aller Daten, (b) unter Auslassung der ersten Einschätzungen.

Bei allen Geräten ist gleichermaßen festzustellen, dass die Gruppe G3, die mit 85% Fmax trainierte, die Gewichte i. d. R. niedriger einstufte als die Gruppe G2 (mit 65% Fmax), welche wiederum geringere RPE-Werte angab als die Gruppen G1 (mit 50% Fmax). Noch deutlicher zeichnet sich diese Tendenz in Tab. 7.6b ab, in der die erste Belastungseinschätzung, die bei der Voruntersuchung erfolgte und bei der alle Probanden gleichermaßen unerfahren waren, aus der Mittelwertbildung herausgenommen ist und in der zudem die Einschätzungen der Gruppe G5 aufgelistet sind. Insgesamt fallen hier die persönlichen Belastungseinschätzungen innerhalb der Gruppen homogener aus, was sich u. a. in geringeren Standardabweichungen niederschlägt. Wie die Tabellen 7.6 ebenfalls deutlich zeigen, variiert die Belastungseinschätzung zudem in Abhängigkeit vom Trainingsgerät, wobei Latzug und Dip in allen Gruppen als leichtere Belastung eingeschätzt werden als Butterfly und Beinpresse, vor allem bei niedrigen Intensitäten.

Insgesamt ist zu bemerken, dass in allen Gruppen eine Gewöhnung sowohl an die Geräte als auch an die jeweilige Trainingsintensität stattgefunden hat. Betrachtet man die Differenzen zwischen den Mittelwerten aller RPE-Daten und den RPE-Werten unter Ausschluss der Voruntersuchungsdaten, so ist festzustellen, dass vor allem bei den Gruppen G2 und G3 Differenzen bis zu einem Skalenpunkt auftreten, während bei Gruppe G1 die Unterschiede tendenziell geringer ausfallen. Weiterhin ist bemerkenswert, dass die Differenz zwischen Voruntersuchung und späteren Einschätzungen in den einzelnen Gruppen i. d. R. jeweils bei derjenigen Lasthöhe am größten ist, mit der die Gruppe trainiert hat, d. h. bei der Gruppe G1 bei 50%, bei G2 bei 65% und bei G3 bei 85% Fmax. Betrachtet man nur die ersten, bei den Vorversuchen abgegebenen Einschätzungen, sind keine gruppenspezifische Tendenzen erkennbar und auch die Abhängigkeit von den Geräten ist noch nicht so stark ausgeprägt, lediglich die Beinpresse wird im Vergleich zu den übrigen Geräten sehr schwer eingeschätzt (Tab. 7.7).

Gerät	Latzug			Dip			Butterfly			Beinpresse		
	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%	50 %	65 %	85%
Gruppe G1 (n = 5)	2,3 ± 0,4	4,3 ± 1,2	7,8 ± 0,9	2,1 ± 0,9	4,4 ± 1,5	8,4 ± 1,3	3,5 ± 0,5	5,9 ± 0,9	8,6 ± 1,5	4,6 ± 1,5	7,4 ± 1,5	9,9 ± 0,2
Gruppe G2 (n = 3)	2,0 ± 0,0	4,2 ± 0,8	7,0 ± 1,0	3,3 ± 0,6	6,0 ± 1,0	8,8 ± 0,3	3,2 ± 0,3	5,5 ± 1,3	8,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	9,3 ± 0,6
Gruppe G3 (n = 3)	1,8 ± 0,8	4,0 ± 1,0	7,8 ± 0,8	3,2 ± 1,0	5,2 ± 1,3	8,7 ± 0,3	3,3 ± 0,6	5,0 ± 1,0	8,8 ± 0,3	4,5 ± 1,3	7,0 ± 1,0	9,8 ± 0,3

Tab.7.7: Die Mittelwerte der RPE-Daten aus der ersten, bei den Vorversuchen abgegebenen Belastungseinschätzungen.

Dieser Befund spricht dafür, dass die Probanden sich bereits nach zwei Wochen an ihr jeweiliges Trainingsgewicht angepasst haben und es daher leichter einstufen als zu Beginn der Studie. Im weiteren Verlauf des Trainings bleiben die Anstrengungseinschätzungen relativ konstant, d. h. es lassen sich keine weiteren markanten tendenziellen Änderungen in der Belastungseinschätzung erkennen. Neben den z. T. recht deutlichen Unterschieden in der Anstrengungswahrnehmung, ist zudem festzustellen, dass die Abweichungen vom Mittelwert mit höherer Belastung i. d. R. in allen Gruppen gleichermaßen größer werden. Diese bei hohen Lasten anscheinend konsistent auftretenden Schwierigkeiten bei der Belastungseinschätzung fielen im Rahmen der Maximalkrafttests besonders stark bei den Versuchen an der Beinpresse auf. Hier wurde von den Probanden sehr häufig schon der höchste RPE-Wert angegeben, obwohl danach noch zwei oder drei Laststeigerungen möglich waren. An den anderen Geräten war dies in so extremer Form nicht zu beobachten. Möglicherweise gelingt eine erste Belastungseinschätzung am besten bei Übungen und Intensitäten, die Alltagsbelastungen nahe kommen.

Zu klären war weiterhin, ob die RPE-Skala als ein geeignetes Maß zur Belastungssteuerung u.a. für Patienten der Anschlussheilbehandlung herangezogen werden kann. Hierzu wurden die Daten der Gruppe G1, G2 und G5 verglichen.

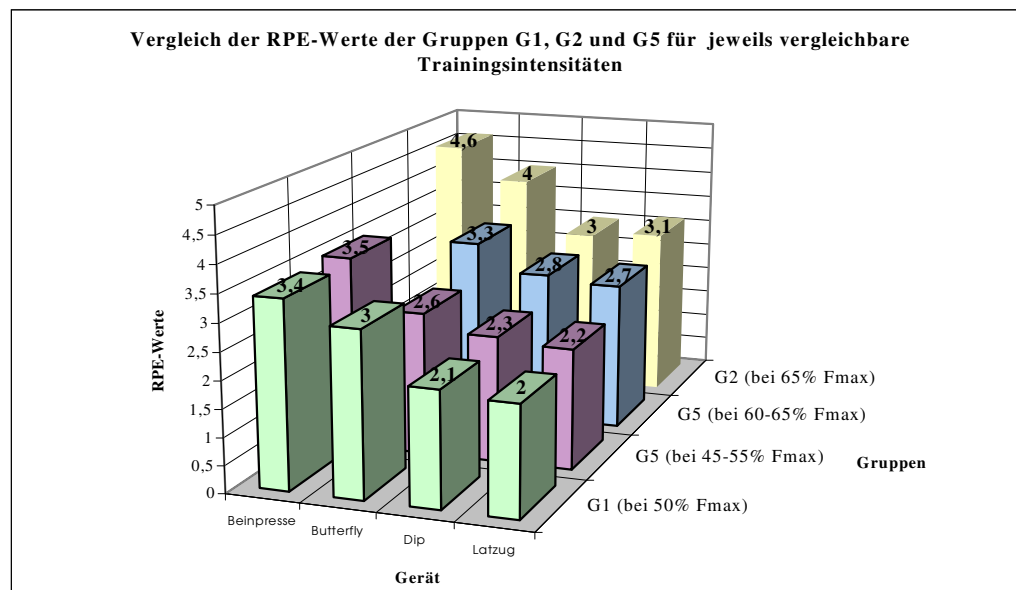


Abb.7.8: Mittelwerte der RPE-Daten der Gruppen G1, G2 und G5 bei jeweils vergleichbarer Belastungsintensität (Die Standardabweichungen für die beiden Intensitäten der Gruppe G5 liegen zwischen 0,2 und 0,5; für die Gruppen G1 und G2 zwischen 0,2 und 1,4 (vgl. Tab. 7.5).

Da die Gruppe G5 in Abhängigkeit vom Trainingsgerät und Genesungszustand mit unterschiedlichen Intensitäten trainierte, wurden ihre RPE-Werte sowohl für Lasten zwischen 45-55% Fmax als auch für Lasten zwischen 60-65% Fmax zusammengefasst und mit den Belastungseinschätzungen der Gruppe G1 (für Lasten mit 50% Fmax) bzw. der Gruppe G2 (für Lasten mit 65% Fmax) verglichen (vgl. sAbb. 7.8)).

Die Abhängigkeit der persönlichen Anstrengungswahrnehmung vom Trainingsgerät ist auch bei der Gruppe G5 zu beobachten, jedoch nicht so stark ausgeprägt wie bei den anderen Gruppen, vor allem der Butterfly wird tendenziell leichter eingestuft.

Das Diagramm zeigt eine mehr oder weniger gute Übereinstimmung der zu vergleichenden Gruppen. Es fällt auf, dass eine Lasthöhe mit 45-55% von Fmax mit Ausnahme des Butterflys von den Patienten etwas anstrengender eingestuft wird als von den Probanden der Gruppe G1, wohingegen die Belastungseinschätzungen bei 60-65% Fmax bei der Gruppe G5 niedriger ausfallen als bei der Gruppe G2. Da jedoch die Trainingsintensitäten bei den Patienten nicht so gleichförmig angelegt waren wie bei den Probanden der Gruppen G1 und G2, können diese Abweichungen durchaus auf die variablen Lasthöhen zurückgeführt werden.²⁰⁸ Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Belastungseinschätzungen der Gruppen G1, G2 und G5 in Abhängigkeit vom jeweiligen Trainingsgewicht zu vergleichbaren Resultaten führt.

7.3.2 Erörterung der Ergebnisse

Die Hypothese 3 beinhaltet die Annahme, dass die RPE-Skala unabhängig von den gewählten Trainingsmitteln und -methoden ein geeignetes Instrument der subjektiven Belastungseinschätzung und -steuerung im Krafttraining sei.

Wie in Kap. 5.4 kurz angedeutet, wird diese Hypothese von einigen Autoren unterstützt, indem sie die RPE-Skala als einfaches Maß für eine Belastungssteuerung im Krafttraining anführen. So geben u. a. TRUNZ/FREIWALD/KONRAD den Hinweis, dass Fitness-Einsteiger (eine Klassifizierung, die evtl. grob mit Patienten zu vergleichen ist) nach einem Aufwärmprogramm ein Gewicht wählen sollten, dass sie anfangs als "leicht" (RPE 11-12 bzw. 2,5-3) empfinden und nach 15 Wiederholungen als "etwas anstrengend" (RPE 13-14 bzw. 4-4,5) einstufen.²⁰⁹

Ein Blick auf die RPE-Daten der Gruppe G5 zeigt, dass dieses Vorgehen zumindest in dieser Gruppe nicht umgesetzt werden konnte (s. Tab. 7.8).

²⁰⁸ Siehe auch Kap. 8.

²⁰⁹ Vgl. TRUNZ/FREIWALD/KONRAD (1992, 23f).

	Beinpresse	Butterfly	Dip	Latzug
Anfang der 1. Serie	3,5 ± 0,2	2,9 ± 0,5	2,6 ± 0,4	2,5 ± 0,6
Ende der 4. Serie	3,8 ± 0,3	3,7 ± 0,5	3,6 ± 0,5	3,3 ± 0,7

Tab.7.8: Vergleich der RPE-Werte der Gruppe G5 vor und nach einer Trainingsserie.

Zwar lag die erste Einschätzung (mit Ausnahme der Beinpresse) mit Werten zwischen 2,5 und 3 durchaus im Rahmen der oben aufgeführten Vorgaben, am Ende aller vier Serien (mit jeweils 15 Wdh.) jedoch sind die Werte nur um ca. 0,8 Skaleneinheiten auf 3,3 bis 3,7 gestiegen, d.h. sie sind generell niedriger als die erwarteten Skaleneinheiten von 4-4,5. Bei der Beinpresse hingegen wurde die Belastung zu Beginn mit 3,5 schon relativ hoch eingestuft, veränderte sich dafür jedoch im Verlauf der Serie nur geringfügig um 0,3 Punkte auf einen mittleren Wert von 3,8, was bedeutet, dass die höhere Belastungseinstufung im Bereich der Standardabweichung liegt.²¹⁰

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen sowie der Vergleich mit obigen Literaturdaten machen deutlich, dass die Handhabung der RPE-Skala nicht einfach zu pauschalisieren ist und die aufgestellte Hypothese in Hinblick auf den zweiten Teil nicht bestätigt werden kann. Sowohl die Trainingsmittel als auch die Trainingsmethoden beeinflussen die subjektive Belastungseinschätzung anhand der RPE-Skala in unterschiedlich starkem Maße.

Die persönliche Belastungseinschätzung scheint von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren abzuhängen. So sind u. a. die beobachteten Abhängigkeiten der RPE-Daten vom Trainingsgerät als auch von der jeweiligen Trainingsintensität unbedingt zu berücksichtigen. Weiterhin zu bedenken ist zudem der Einfluss der Motivation, der Tagesform und nicht zuletzt der Psyche des jeweils Trainierenden auf die RPE-Skala.²¹¹

²¹⁰ TRUNZ/FREIWALD/KONRAD (1992, 129f) führen später weiter aus, dass Fitness-Einsteiger nach längerer körperlicher Inaktivität mit einer drei- bis vierwöchigen gelenk- und strukturschonenden Eingewöhnungsphase beginnen sollten, bei der das Gerätetraining nur mit leichten Lasten (bei RPE-Skalenwerten von 11-12 bzw. 3) und wenig Wiederholungen und Serien durchgeführt wird. Mit diesen Vorgaben soll sich der Körper an die Geräte bzw. die Bewegungsausführungen gewöhnen und die neuromuskulären Prozesse geschult werden. Es stellt sich hier jedoch die Frage, ob mit solch leichten Gewichten und geringen Wiederholungszahlen die für ein späteres Muskelaufbautraining benötigte inter- und intramuskuläre Koordination wirklich sinnvoll vorbereitet wird. Nach ZATSIORSKY (1996, 114ff) wird die zur Bewältigung höherer Lasten benötigte inter- und intramuskuläre Koordination lediglich durch ein Training mit entsprechend hohen Lasten verbessert.

²¹¹ Vgl. RUSSELL (1997) und DELIGNIERES /BRISWALTER (1994).

Es stellt sich somit die Frage, ob und inwieweit die RPE-Skala trotzdem als ein sinnvolles, reliables und valides Instrumentarium der Belastungssteuerung im Krafttraining herangezogen werden kann.

Die Validität der RPE-Skala wurde von einer Vielzahl von Autoren vor allem für verschiedene Ausdauer-Sportarten (zumeist auf entsprechenden Ergometern) untersucht, so u.a. für Laufen, Walking, Steppen, Rudern, Radfahren, und Schwimmen.²¹² Andere Autoren hingegen zweifeln die Wirksamkeit der Skala in Hinblick auf stufenförmige Belastungen bei gesunden und kranken Personen an.²¹³ LAMB/ESTON/CORNS z. B. kommen in ihrer Untersuchung am Laufband zu dem Schluss, dass die Test-Retest Reliabilität der RPE-Skala zweifelhaft ist, da die RPE-Werte einzelner trainierter Athleten zwischen Test und Retest um bis zu 3 Skaleneinheiten auf der etablierten 6-20 Borg-Skala variieren konnten.²¹⁴

Im Bereich des Krafttrainings erfolgen die Untersuchungen zumeist mit isometrischen oder isokinetischen, selten mit konzentrischen Übungen. Nach BUSKIES ist das subjektive Belastungsempfinden (anhand der WANNER-Skala) ein durchaus geeignetes Mittel zur Intensitätssteuerung im normalen Krafttraining mit Sequenztrainingsgeräten.²¹⁵ Jedoch treten in seinen Untersuchungen zwischen den einzelnen Geräten relativ große Differenzen (von bis zu 20%) auf, d.h. bei gleichem Belastungsempfinden trainierten die Probanden an dem einem Gerät bei ca. 40% Fmax, an einem anderen Gerät jedoch mit rund 60% Fmax. Auch die statistischen Abweichungen bewegen sich in einem relativ großen Rahmen (bis über 15%), so dass die Übergänge zwischen den einzelnen Belastungsstufen mehr oder weniger fließend sind.²¹⁶

PINCIVERO/COELHO/ERIKSON ermittelten bei jeweils fünfzehn männlichen und weiblichen Probanden die RPE-Werte über neun Intensitätsstufen (10-90% MVC) einer isometrischen Anspannung der Oberschenkelmuskulatur und kamen zu dem Schluss, dass die RPE-Werte linear mit der wachsenden Belastung ansteigen.²¹⁷ Sie arbeiteten in ihrer Untersuchung mit einer sog. „Verankerung“ der RPE-Skala, d.h. sie ließen die Probanden den niedrigsten (0 = Ruhezustand) und den höchsten Skaleneinheit (10 = maximale Belastung) vor Beginn der Studie „erfühlen“. An diesen

beiden Fixpunkten der Empfindung sollten die Probanden ihre Belastungseindrücke während der Untersuchung messen und dementsprechend äußern. Dieses Prozedere soll die spätere Einschätzung erleichtern und einen sichereren Umgang mit der Skala gewährleisten. Jedoch sind auch in dieser Untersuchung beträchtliche Standardabweichungen von ca. 1,5 Skalenpunkten zu beobachten, d.h. werden die Werte gegeneinander aufgetragen, lässt sich zwar relativ gut eine Gerade durch die Mittelwerte legen, jedoch reichen die Abweichungen sowohl nach unten als auch nach oben um jeweils ein bis zwei Skalenpunkte hinaus. Somit mag zwar theoretisch eine Linearität gegeben sein, jedoch kann im Einzelfall nicht davon ausgegangen werden, dass diese Linearität auch von jedem Nutzer der Skala erreicht wird. In Hinblick auf die Einschätzungen der Männer und der Frauen konnten die Autoren ebenso wie ROBERTSON et al. keine geschlechtsspezifischen Unterschiede ermitteln.²¹⁸

Im Gegensatz dazu fanden PARFITT/ESTON in ihren Untersuchungen (Radergometer) signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern, wobei die von Frauen angegebenen RPE-Werte bei gleicher Belastungshöhe höher angesiedelt waren als die der Männer.²¹⁹ In Ihrer Studie kommen die Autoren zudem zu dem Ergebnis, dass die Presteady-state RPE-Werte deutlich niedriger liegen als die steady-state Daten und folgern daraus, dass das Erreichen eines kardiorespiratorischen und metabolischen Gleichgewichts für die jeweilige Belastungsstufe notwendig ist, um die Belastungshöhe richtig einschätzen zu können.

Die Betrachtung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse wirft die Frage auf, welche physischen und/oder psychischen Faktoren das subjektive Belastungsempfinden beeinflussen und inwieweit hierbei Unterschiede zwischen Ausdauer- und Kraftsportübungen bestehen. BORG wies in seinen ersten Untersuchungen zur 6-20-Skala enge Korrelationen zwischen RPE-Werten und Herzfrequenz nach, d.h. jeder Skalenwert entsprach dem zehnfachen Wert als Herzfrequenz.²²⁰ Jedoch ist diese Korrelation nur bedingt gültig, da sowohl Herzfrequenz als auch ggf. die persönliche Anstrengungswahrnehmung in unterschiedlicher Weise u.a. von Alter,

²¹² Vgl. u. a. SKINNER, et al. (1973), MORGAN/BORG (1976), ROBERTSON (1982), UEDA/KUROKAWA (1995), ROBERTSON et al. (1996), WALKER/LAMB/MARRIOTT (1996), MARRIOTT/LAMB (1996), ESTON/THOMPSON (1997), KANG et al. (1998), BUCKLEY/ESTON/SIM (2000) und GROSLAMBERT et al. (2001).

²¹³ Vgl. WHALEY et al. (1997).

²¹⁴ Vgl. LAMB/ESTON/CORNS (1999, 338f).

²¹⁵ Vgl. BUSKIES (1999, 319).

²¹⁶ Vgl. BUSKIES (1999, 317, Tab. 2).

²¹⁷ Vgl. PINCIVERO/COELHO/ERIKSON (2000).

²¹⁸ Vgl. PINCIVERO/COELHO/ERIKSON (2000) und ROBERTSON et al. (2000).

²¹⁹ Vgl. PARFITT/ESTON (1995).

²²⁰ Vgl. BORG (1970).

Sportart bzw. Übung, Temperatur, Medikamenten oder auch Angst (z.B. vor Versagen der gestellten Aufgabe, Verletzungen o.ä.) abhängig sind.²²¹

Neben der Herzfrequenz ergaben verschiedene Studien Zusammenhänge der RPE-Skala mit weiteren sogenannten „zentralen Faktoren“ wie Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme.²²²

Außer diesen zentralen Faktoren werden in unterschiedlichen Studien zudem „lokale Faktoren“ genannt, die für das Belastungsempfinden innerhalb der arbeitenden Muskulatur verantwortlich sein sollen. Hierzu zählt u.a. der Laktatgehalt, der pH-Wert und die Energiebereitstellung (Glukosegehalt im Blut) bzw. die Muskeler schöpfung.²²³

Nach HETZLER et al. stellt die RPE-Skala ein valides Instrument zur Vorhersage der Laktatkonzentration dar und auch STEED/GAESSER/WELTMAN befürworten den Einsatz der RPE-Skala zur Intensitätssteuerung bei Sportarten, die primär über Laktatgehalte gesteuert werden.²²⁴

Wie bereits mehrfach erwähnt, beziehen sich die meisten Studien auf zyklische Ausdauersportarten. Für den Kraftsportbereich gibt es dementsprechend auch in Hinblick auf die das Belastungsempfinden beeinflussende Faktoren nur wenige Erkenntnisse. PINCIVERO et al. beschreiben bei isometrischen Übungen des Quadriceps eine Beeinflussung der RPE-Werte durch einen Feedback-Mechanismus, hervorgerufen durch eine Akkumulation von Metaboliten, sowie durch einen Feedforward-Prozess.²²⁵

Nach PINCIVERO/COELHO/ERIKSON wird das Belastungsempfinden bei isometrischen Übungen u.a. durch verschiedene Level der Muskelermüdung während einer anhaltenden Muskelanspannung beeinflusst.²²⁶ Daneben scheinen auch die Anzahl der benutzten Muskeln (Muskelgruppen) sowie der Laktatgehalt im Blut eine Rolle zu spielen. KRAEMER et al. z. B. konnten eine signifikante Korrelation zwischen Laktatwerten und RPE-Daten feststellen und auch BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/

²²¹ Vgl. RUSSELL (1997).

²²² Vgl. u.a. ROBERTSON/GOSS/METZ (1998).

²²³ Vgl. ROBERTSON/GOSS/METZ (1998).

²²⁴ Vgl. HETZLER et al. (1991) und STEED/GAESSER/WELTMAN (1994).

²²⁵ Vgl. PINCIVERO et al. (1999). Mit Feedforward-Prozess (nach Cafarelli, 1982) wird ein Modell beschrieben, das davon ausgeht, dass eine Kopie der zentral im Motorcortex generierten Befehle gleichzeitig zur sensorischen Cortex übertragen wird, wodurch ein zentraler Ursprung für die empfundene Belastung verhindert wird. Bei völlig fehlendem signifikanten Feedback aus der ermüdeten Muskulatur bestünde somit zumindest theoretisch ein enger Zusammenhang zwischen relativem Krafteinsatz und dem Belastungsempfinden. Je nach Länge der Muskelbeanspruchung steigt der Einfluss des Feedback-Mechanismus auf das Belastungsempfinden.

²²⁶ PINCIVERO/COELHO/ERIKSON (2000).

ZIESCHANG weisen in ihrer Untersuchung eine enge Beziehung zwischen diesen beiden Parametern nach.²²⁷

Inwieweit die Psyche Einfluss auf die Benutzung der RPE-Skala nimmt, ist bislang wenig untersucht. Jedoch lassen persönliche Beobachtungen während der Studie vermuten, dass die Motivation oder auch die Gemütsverfassung („psychische Tagesform“) die persönliche Anstrengungswahrnehmung beeinflussen. So kann davon ausgegangen werden, dass Probanden bzw. Patienten bei guter Laune eine gleiche Belastung eher niedriger einschätzen als im frustrierten oder deprimierten Zustand. Auch die Anwesenheit anderer Personen oder des Studienleiters/Trainers können eine Rolle spielen („bloß keine Schwäche zeigen“). Zudem kann eine Vorliebe oder Abneigung gegen das eine oder andere Trainingsgerät in die persönliche Belastungseinschätzung einfließen. Diese psychischen Faktoren sind zwar nicht messbar, sollten jedoch von dem Trainer als auch dem Trainierenden beachtet und einkalkuliert werden.

Fazit: Die Hypothese 3 geht davon aus, dass die RPE-Skala ein geeignetes Mittel der Belastungssteuerung darstellt und unabhängig von den Trainingsmitteln und -methoden einsetzbar ist. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse können zwar den ersten Teil der Hypothese ansatzweise bestätigen, widerlegen jedoch eindeutig den zweiten Teil. Vor allem in Hinblick auf die eingesetzten Trainingsmittel weichen die Ergebnisse z. T. erheblich voneinander ab. Es stellt sich somit die Frage, welche Ursachen hierfür verantwortlich sind. Die in der Literatur angeführten, die RPE-Werte beeinflussenden Faktoren wie z. B. Muskelermüdung, Akkumulation von Metaboliten sowie PH-Wert, Laktat- und Glukosegehalt im Blut sollten in Hinblick auf die eingesetzten Trainingsmittel keine Rolle spielen dürfen, sondern vielmehr erst im Laufe des Trainings zum Tragen kommen. Lediglich die Anzahl der benutzten Muskeln bzw. Muskelgruppen sowie individuelle psychische Faktoren könnte die Bewertung der Belastung an den verschiedenen Trainingsgeräten beeinflussen.

Um einen akzeptablen Gebrauch der RPE-Skala im normalen Trainingsbetrieb zu gewährleisten, scheint es notwendig zu sein, jedes Trainingsgerät separat zu „eichen“. Dies wäre nur durch Vorversuche in dem jeweiligen Kraftstudio oder Rehabilitationszentrum zu leisten, bei denen jedes Gerät in einer genau festgelegten Versuchsanordnung mittels RPE-Skala und geeigneten Krafttests (vgl. Kap. 7.1) eingestuft werden müsste. Die Trainingsgeräte müssten dabei über entsprechende Messvorrichtungen verfügen, damit die Bewegungen der Probanden genau definiert sind

²²⁷ Vgl. KRAEMER et al. (1987) und BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996).

(vgl. Kap. 7.1). Die Probanden sollten sowohl Erfahrung im Umgang mit der RPE-Skala besitzen als auch mit den Geräten, bzw. der Übungsausführung vertraut sein, jedoch kein eigenes Training mit konstanten Gewichten (bzw. Fmax-Werten) durchführen bzw. durchgeführt. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, scheinen mittlere Intensitäten für die Arbeit mit der RPE-Skala am geeignetsten zu sein, da hier die Angaben aller Probanden am dichtesten beisammen lagen.²²⁸

Ein mittels der RPE-Skala gesteuertes Training sollte dementsprechend in diesem Intensitätsbereich angesiedelt sein. Sollen Personen anhand dieser geeichten Geräte-RPE-Skala jedoch längere Zeit im gleichen Intensitätsbereich trainieren, muss dem in dieser Studie nachgewiesenen Intensitätsgewöhnungseffekt insofern Rechnung getragen werden, als dass nach ca. drei bis vier Trainingseinheiten mit einem leicht herabgesetztem RPE-Wert gearbeitet wird.

²²⁸ Eine relativ genaue Belastungseinschätzung scheint den meisten Probanden bei niedrigen bis mittleren Intensitäten am leichtesten zu fallen. Ein Grund hierfür könnte die Übereinstimmung der Intensitäten mit „normalen Alltagsbelastungen“ sein, selbst wenn das Gerät bzw. die Übung unbekannt ist. Bei hohen Intensitäten fehlt häufig die Erfahrung, so dass hier die Streuung der Werte sehr groß ist. Abhilfe hierbei könnte die bereits beschriebene Methode der „Verankerung“ der RPE-Skala bieten.

7.4 PSYCHISCHE EFFEKTE

7.4.1 Darstellung der Ergebnisse

Wie bereits in Kap. 6 dargelegt, waren die Fragebögen nicht dazu geeignet, quantitative oder gar repräsentative Ergebnisse zu liefern. Jedoch war es durchaus möglich, anhand der Antworten einen ersten Eindruck zu gewinnen, ob das Krafttraining neben physischen Effekten auch Auswirkung auf die Psyche der Patienten bzw. Probanden hatte. Zudem war von Interesse, ob sich Unterschiede in den Einschätzungen der Patienten und der gesunden Probanden zeigen.

Ein erster Fragenkomplex beschäftigte sich mit der persönlichen Einschätzung von Kraft und Fitness sowie dem Empfinden von Belastung, Zeitaufwand und Motivation. Hier gaben die Hälfte der Probanden und fast alle Patienten an, sich kräftiger und fitter zu fühlen als zu Beginn der Studie bzw. Therapie und dies häufig auch im Alltag positiv wahrzunehmen. Die Belastung wurde von den meisten Befragten als gerade richtig beschrieben, während der Zeitaufwand vor allem von den Patienten häufig als zu hoch angegeben wurde (was sich jedoch zumeist auf die gesamte Anwendung bezog, d. h. Krankengymnastik und Massage oder Bewegungsbad mit einschloss).

		Probanden (n = 10)	Patienten (n = 11)
Belastung war:	Zu hoch	0	1
	Okay	7	9
	Zu niedrig	3	1
Zeitaufwand	Zu hoch	2	6
	Okay	8	5
	Zu niedrig	0	0
Kraft allgemein	gestiegen	5	10
	Gleich	5	0
Fitness	verbessert	5	10
	Gleich	5	0
Motivation	Gestiegen	0	2
	Gleich geblieben	9	4
	Gesunken	1	5
Auswirkung auf Alltag	positiv	7	7
	negativ	0	0
	keine	3	3

Tab.7.9: Beurteilung des Krafttrainings hinsichtlich Belastung und Zeitaufwand, die Einschätzung der physischen Veränderungen sowie die Auswirkungen auf die Motivation und den Alltag.

Die Motivation ließ bei etwa der Hälfte der Patienten im Laufe der Therapie etwas nach, lediglich bei zwei Patienten kam es zu einer Motivationssteigerung, die vornehmlich mit Trainingsfortschritten sowie der Betreuung durch die Therapeuten und den Austausch mit anderen Patienten begründet wurden.²²⁹

Das gemeinsame Training im Großraum wurde von allen Patienten als positiv empfunden und half vor allem Patienten, deren Motivation sank, da Gespräche mit Personal und anderen Patienten ihnen die Zeit vertrieb und von dem häufig als stupide empfundenen Gerätetraining ablenkte.

Bei den gesunden Probanden blieb die Motivation bei allen über die sechs Wochen hinweg fast gleichermaßen gut. Die meisten Befragten gaben an, das Training gerne weiter fortsetzen zu wollen, lediglich bei der einen oder anderen Übung ließ die Motivation z. T. etwas nach.

Positive Auswirkungen im Alltag wurden vorwiegend für den körperlichen Bereich beschrieben. Während die gesunden Probanden lediglich angaben, allgemein fitter im Alltag zu sein, wurden von den Patienten häufig konkrete Beispiele genannt; angefangen damit, beim Treppensteigen nicht mehr so schnell außer Atem zu geraten und andere einfache Tätigkeiten besser bewältigen zu können bis dahin, in der Lage zu sein, den Beruf wieder ausüben zu können.²³⁰

Die zunehmende körperliche Leistungsfähigkeit hatte bei einigen Patienten auch positive soziale Auswirkungen, wie z. B. verbesserte Mobilität, erhöhte Kontaktfreudigkeit (die vorher aufgrund des schlechten Wohlbefindens stark reduziert war), sowie gesteigerte Belastbarkeit in beruflichen und privaten Situationen.²³¹

Ein zweiter Fragenkomplex beschäftigte sich mit den Auswirkungen des Krafttrainings auf die psychische Gesundheit d. h. auf Komponenten des Wohlbefindens (wie z. B. Ausgeglichenheit und Zufriedenheit), die Selbstwertschätzung sowie das Körperbewusstsein. Die gesunden Probanden waren vor allem aufgrund der Tatsache, regelmäßig etwas für sich (bzw. den Körper) tun zu können, zufriedener und/oder ausgeglichener. Auch die Patienten gaben als Grund für die gestiegene Zufriedenheit

²²⁹ Patienten: „Bedingt durch den Willen gesund zu werden, war die Motivation von Anfang an sehr hoch. Durch erste Trainingserfolge und sporttherapeutische Unterstützung verstärkte sich die Motivation zusätzlich.“ „Motivation ist bei zunehmender Besserung gesunken, da der Leistungszuwachs von einem zum anderen Training immer geringer wurde.“

²³⁰ Patienten: „Im Alltag trat ein besseres und sicheres Befinden bei der Erledigung alltäglicher Dinge ein.“ „Durch die gute Therapie bin ich nunmehr nach 2 Jahren wieder in der Lage meinen Beruf auszuüben.“

²³¹ Patient: „Der Einfluss ist indirekt, da bedingt durch das schlechte Wohlbefinden vor dem Training dazu geführt hat, dass man den Umgang mit anderen Menschen reduziert hatte.“

und Ausgeglichenheit häufig den Faktor an, überhaupt wieder Sport treiben, bzw. seinen Körper belasten zu können.²³²

	Probanden (n = 10)	Patienten (n = 11)
Größere Ausgeglichenheit	6	6
Größere Zufriedenheit	5	7
Höheres Selbstbewusstsein / Selbstwertgefühl	2	5
Besseres Körpergefühl / -bewusstsein	8	8
Keinerlei Auswirkungen	0	2

Tab.7.10: Angaben der Probanden und Patienten zu Fragen hinsichtlich der psychischen Gesundheit sowie dem Körpergefühl. Aufgeführt sind lediglich die positiven Antworten zu den entsprechenden Items.

Während keiner der gesunden Probanden eine Begründung für das verbesserte Körpergefühl angab, wurden von den Patienten mehrere Gründe genannt; u. a. ein bewusster und gefühlvoller Umgang mit dem eigenen Körper (Körperhaltung und -bewegungen), das Aufzeigen der eigenen Grenzen und eine bessere Wahrnehmung der Schmerzempfindungen und Signale des Körpers.²³³

Bei den Probanden zeigte sich zudem, dass Personen, die auch sonst regelmäßig Sport betrieben, generell weniger Auswirkungen angaben.

Interessant ist schließlich auch die Tatsache, dass lediglich zwei Patienten schrieben, überhaupt keine Auswirkungen auf ihre psychische Gesundheit und ihr Körpergefühl bemerkt zu haben. Da die Fragebögen bei diesen Personen insgesamt nur äußerst knapp ausgefüllt worden waren, liegt die Vermutung nahe, dass sie den Fragebogen nicht mit der erforderlichen Ruhe und der notwendigen Auseinandersetzung mit ihrem Körper ausgefüllt hatten. Von dem überwiegendem Teil der befragten Personen jedoch war der Fragebogen sehr sorgfältig beantwortet worden und es konnte

²³² Patienten: „Insgesamt kann ich aber feststellen, dass ich positive Auswirkungen spüre (wie Zufriedenheit, Ausgeglichenheit, körperliche Leistungsfähigkeit hat sich erhöht, Zuversicht – etwas Gutes, Vorbeugendes für die Gesundheit zu tun“, „Ich bin durchaus ausgeglichener und zufriedener, seitdem ich wieder regelmäßig etwas Sport treiben kann.“

Probanden: „...hat das regelmäßige Training die Ausgeglichenheit gefördert und Zufriedenheit gesteigert. Mit dem Wissen, etwas für seinen Körper zu tun, steigt auch das Selbstbewusstsein und Körperbewusstsein sowie Ernährungsverhalten.“ „Etwas zufriedener und ausgeglichener durch das mehr an Sport.“

²³³ Patienten: „Ich nehme meinen Körper viel öfter wahr als zuvor. Ich habe mehr Freude an der Bewegung.“ „Ich höre mehr auf meinen Körper.“ „...kann ich bewusster und gefühlvoller mit dem Körper umgehen.“ „Körperbelastende Situationen werden bewusster und körpergerechter absolviert. Auf Schmerzempfindungen wird jetzt eher reagiert.“

zum Teil sogar der Eindruck entstehen, dass die Fragen ein willkommener Anlass waren, über sich, seinen Körper und den Sinn und Erfolg des Trainings nachzudenken. Gerade in Hinblick auf den Erfolg des Trainings war die Resonanz bei den Patienten sehr groß. So gaben alle Patienten an, ihre gesteckten Ziele ganz oder zumindest teilweise realisiert zu haben, zwei Patienten hatten sogar mehr erreicht, als sie sich zuvor erhofft hatten.²³⁴

In Bezug auf die Frage, ob die angegebenen Veränderungen der Körperwahrnehmung sowie der psychischen Gesundheit sich wiederum auf das Training bzw. den Trainingserfolg ausgewirkt haben, ließen sich weder bei den Probanden noch bei den Patienten eindeutige Korrelationen zwischen den Antworten und den Trainingsergebnissen bzw. –fortschritten feststellen.

7.4.2 Erörterung der Ergebnisse

Wie bereits dargelegt, liefern die aufgeführten Ergebnisse aufgrund der nicht den Gütekriterien entsprechenden Befragungsmethode lediglich Anhaltspunkte hinsichtlich der aufgeworfenen Fragen, jedoch keine empirischen Fakten. Dennoch ergeben die Antworten ein recht einheitliches Bild und es wäre m.E. durchaus lohnenswert, diesen Fragen in einer größer angelegten empirischen Studie nachzugehen.

Laut eigenen Angaben hatte das Training bei den meisten der befragten Personen einen positiven Einfluss auf den einen oder anderen Faktor der psychischen Gesundheit.

Demnach wäre der erste Teil der Hypothese 4 bestätigt (allerdings nicht empirisch abgesichert), wonach Krafttraining die psychische Gesundheit beeinflusst.

Bei den gesunden Probanden ist davon auszugehen, dass hier u.a. die Entsprechung gesellschaftlicher Normen eine Rolle spielte (z. B. dass das Erreichen des gängigen Schönheitsideal oder ein sportliches gesundes Aussehen durch Training gefördert wird), wohingegen bei den Patienten die Schmerzbewältigung und die Rückkehr in ein „normales“ Leben im Vordergrund standen.

Eine Zunahme von Zufriedenheit und Ausgeglichenheit wurde in beiden Gruppen von annähernd gleich vielen Personen angegeben. Hier ist anzumerken, dass von den meisten Personen als Begründung Hinweise darauf kamen, dass es die Zufriedenheit

²³⁴ Patienten: „Erwartet hatte ich spezielles Aufbau-Training für mein operiertes Knie, erreicht habe ich darüber hinaus noch mehr, i.S.v. einem mehr ganzheitlichem Training und einem besseren Gesamt-Körpergefühl.“ „...Besseres Körperbewusstsein und –wahrnehmung, Zunahme der Bedeutung von Bewegung und Spaß daran, Wohlempfinden insgesamt sind Punkte, die ich nicht als zu erwartendes Ziel gesteckt hatte.“

steigert, wenn man etwas für seinen Körper tut. Zudem stellt die körperliche Betätigung einen guten Ausgleich zu der häufig nur mit wenig Bewegung verbundenen Arbeitswelt dar, was zu mehr Ausgeglichenheit führt. Eine Rolle bei der Steigerung von Zufriedenheit durch Sport spielt sicherlich auch der in unserer Gesellschaft bestehende Körperboom, dem sich nur die wenigsten entziehen können.

Häufig reicht allein bereits die Tatsache, sich in irgendeiner Form sportlich/körperlich betätigt zu haben, um ein Gefühl der Zufriedenheit entstehen zu lassen.²³⁵ Dies gilt um so mehr, als häufig Gesundheit mit Sportlichkeit/Fitness gleichgesetzt wird, d.h. das regelmäßige Training führt neben einer Erhöhung der Fitness auch zu mehr Gesundheit, wodurch der eigene „Tauschwert“ gesteigert wird.²³⁶ Die Bewegungen des Körpers erschließen den Zugang zur Welt; durch Sport wird das Selbst quasi direkt erlebbar und er bietet manchem sogar die Möglichkeit, sich selbst zu verwirklichen.²³⁷

Eine Steigerung des Selbstbewusstseins/Selbstwertgefühls ist vor allem von Patienten genannt worden, weniger von den gesunden Probanden. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Patienten durch ihre Verletzung z.T. in ihrer Leistungsfähigkeit stark eingeschränkt waren und durch die Therapie und das Training langsam Gesundheit und körperliche Fitness wiedererlangen konnten. Da in unserer Gesellschaft Leistung und Gesundheit einen sehr hohen Stellenwert haben, stellen diese Punkte zentrale Faktoren in dem Aufbau des Selbstwertgefühls dar, d.h. die Verbesserung des gesundheitlichen Zustandes sowie der körperlichen Fitness hat entscheidenden Einfluss auf das Selbstkonzept.²³⁸ Auch die Zufriedenheit mit dem eigenem Körper, der Leistung sowie dem Aussehen erhöht das Selbstwertgefühl, so dass dementsprechend auch von den gesunden Probanden, die evtl. mehr auf ihr Äußeres bedacht waren, eine Steigerung des Selbstwertgefühls beschrieben wurde.²³⁹

In Hinblick auf die Motivation deuten die Ergebnisse darauf hin, dass eine Motivationssteigerung bzw. –abnahme von der Persönlichkeit bzw. Neigung der Probanden abzuhängen scheint. So wird Krafttraining z. B. von einigen der befragten Personen generell als stupide empfunden (häufig handelt es sich dabei um Personen, die sonst eher Mannschaftssportarten betreiben) und dementsprechend ist auch der Spaß an einem derartigem Training nicht allzu hoch. Da sich die Probanden alle freiwillig und

²³⁵ Vor allem bei ansonsten eher „bewegungsfaulen“ Personen ruft die Teilnahme am Training allein schon deshalb ein Gefühl der Zufriedenheit hervor, weil sie den „inneren Schweinehund“ überwunden haben und statt auf dem Sofa liegen zu bleiben zum Training gegangen sind.

²³⁶ Vgl. PILZ (1991,111).

²³⁷ Vgl. WYDRA (1996,127) und ERDMANN (1991,135).

²³⁸ Vgl. u. a. MRAZEK (1986,94) und WYDRA (1996, 32).

²³⁹ Vgl. SCHÜTTE (1993,142ff).

in Kenntnis der Trainingsart zu der Studie gemeldet haben, trifft dies in erster Linie für die Gruppe der Patienten zu. Für einige der Befragten führte darüber hinaus jeder Trainingsfortschritt zu einer Motivationssteigerung, während bei anderen zu geringe Fortschritte eher demotivierten. Schließlich spielt auch die Dauer des Trainings eine Rolle – sowohl die für das Einzeltraining benötigte Zeit als auch bei der Gruppe der Patienten die insgesamt in die Therapie investierte Zeit. Dieser Faktor kam bei der Gruppe der Patienten natürlich in einem viel stärkerem Maße zum Tragen, da bei ihnen der Zeitaufwand z. T. sehr hoch war.

Nicht zu unterschätzen ist der Einfluss von sog. „externen“ Faktoren auf die psychische Gesundheit. Hierzu zählt vor allem das Umfeld, in dem das Training stattfand als auch die individuelle Betreuung durch das Personal (Krankengymnasten, Sporttherapeuten, Studienleiter). Das Umfeld war vor allem geprägt durch ein Training in großen, luftigen Räumlichkeiten sowie die Anwesenheit mehrerer anderer Patienten mit ähnlichen Krankheiten oder Verletzungen.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Fragebögen zuhause von den Probanden ausgefüllt wurden, d.h. die Beantwortung der Fragen kann durchaus durch die gerade in dem Moment vorhandene, häusliche Stimmungslage beeinflusst worden sein.

Letztlich beschreiben die Antworten nicht das explizit auf das jeweilige Krafttraining ausgerichtete Stimmungsbild, sondern vielmehr allgemein die Einschätzung des gesamten Trainings über die Wochen hinweg auf die einzelnen Punkte der psychischen Gesundheit. Somit kann z. B. bei den Patienten auch allein die Tatsache, im Alltag wieder fitter und beweglicher zu sein, zu Stimmungsverbesserungen geführt haben, wobei das Training lediglich Mittel zum Zweck war. Ähnliches könnte auch für die gesunden Probanden gelten, die individuelle Ziele (bessere Figur oder Kondition, größere Muskelkraft) erreichen konnten.

Der zweite Teil der Hypothese 4, wonach sich die Änderungen der psychischen Gesundheit wiederum auf das Training auswirken, kann weder eindeutig belegt noch widerlegt werden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass Veränderungen bei einigen Aspekte der psychischen Gesundheit wie z. B. allgemeines Wohlbefinden nach erfolgreich beendetem Training oder auch ein gesteigertes Selbstwertgefühl durchaus dazu führen, dass die Probanden oder Patienten motivierter an das nächste Training gehen. Da, wie bereits mehrfach erwähnt, die Motivation einen starken Einfluss auf das Training hat, wäre hier bereits eine Beeinflussung der psychischen Gesundheit auf das Training gegeben.

Diesen Fragen sollte in einer weiterführenden Untersuchung mit einem geeigneten Untersuchungsdesign gezielt nachgegangen werden, da fundierte Ergebnisse einen

wichtiger Baustein für eine weitere Steigerung der Effektivität im Krafttraining – und hier besonders im rehabilitativen Bereich - liefern könnten.

Fazit: Die Hypothese 4 postuliert eine durch Krafttraining hervorgerufene Beeinflussung der psychischen Gesundheit, wobei die Änderungen in der psychischen Gesundheit wiederum auf das Krafttraining und die Trainingsergebnisse einwirken. Die Antworten der Probanden und Patienten bestätigen recht deutlich den ersten Teil dieser Hypothese, wobei die Ergebnisse allerdings nicht empirisch abgesichert sind. Der zweite Teil der Hypothese kann anhand des vorliegenden Fragebogens weder bestätigt noch verworfen werden, da evtl. vorhandene Trainingserfolge oder auch – rückschläge anhand der Ergebnisse nicht explizit auf die Veränderungen der psychischen Gesundheit zurückgeführt werden können, es jedoch auch nicht auszuschließen ist, dass eine gegenseitige Beeinflussung stattgefunden hat. Zur Klärung dieser Sachverhalte sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

8 DISKUSSION

In der Literatur beschränken sich Trainingsempfehlungen für die verschiedenen Kraftfähigkeiten i. d. R. auf Belastungsintensität und –dauer, selten nur werden Angaben zu den Rahmenbedingungen für ein möglichst effektives Krafttraining gemacht.²⁴⁰ Individuelle Faktoren wie z. B. Motivation, Psyche oder das persönliche Umfeld bleiben in vielen Untersuchungen unberücksichtigt und gehen allenfalls in die Standardabweichung der Normergebnisse ein. Dabei sind neben den Belastungskomponenten sowie den Trainingsgeräten auch diese Faktoren für den Erfolg eines Trainings entscheidend.

Eine erste wesentliche Größe für ein optimales Training stellen die benutzten Geräte dar. In Hinblick auf die aufgestellte Hypothese zum Krafttraining hat die vorliegende Untersuchung gezeigt, dass es für eine genaue Steuerung des Krafttrainings unerlässlich ist, dass die Sequenztrainingsgeräte über eine Reihe von messbaren Größen verfügen müssen, um valide und reliable Messergebnisse liefern zu können. Neben den Voraussetzungen für eine exakte Messung von Leistung und Arbeit (u.a. Kraftaufnehmer für Kraft-Zeit-Verläufe) wäre eine Atemgasanalyse vorteilhaft, da aufgrund der unterschiedlichen Anteile an konzentrischer und exzentrischer Muskelaktivität nur so eine genaue Bestimmung der geleisteten Arbeit möglich ist. Anhand von EMG-Messungen sowie durch eine möglichst exakte Bestimmung der jeweiligen Bewegungsabläufe sollten die individuellen Stereotypen (individueller Einsatz ggf. unterschiedlicher Muskelgruppen) analysiert werden, damit so möglichst alle Faktoren, die eine Bewegung charakterisieren, erfasst werden. Nicht zuletzt müssen die Lasten fein abzustufen sein, um dem jeweiligen Kraftvermögen der Trainierenden möglichst exakt Rechnung tragen zu können.²⁴¹

Durch eine an dementsprechend ausgerüsteten Geräten apparativ festgelegte, standardisierte Bewegung z. B. kann die Belastung eines Probanden bei einer festgelegten Bewegung objektiviert werden. So hat HERTER in einer entsprechenden biomechanischen Untersuchung an chronisch Rückenkranken ein Verfahren entwickelt, welches die dynamische Fähigkeit der individuellen Rumpfextension standardisiert und eine mathematische Ableitung erlaubt.²⁴² Damit ist es möglich, messbare Unterschiede in der Bewegung der Rumpfextension zu verdeutlichen. Diese biomecha-

²⁴⁰ Vgl. u.a. BÜHRLE/WERNER (1984), BÜHRLE (1985), ZINTL/HELD (1988), MARTIN (1993), ZATSIORSKY (1996), GÜLICH/SCHMIDTBLEICHER (1987,1999).

²⁴¹ Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Probanden aufgrund grober Gewichtsabstufungen im Verlauf der Studie z. T. mit Gewichten trainierten, die über und/oder unter der vorgegebenen Prozentzahl von Fmax lagen.

²⁴² Vgl. HERTER (1998).

nische Funktionsanalyse liefert eine exakte Messung und Quantifizierung der Leistungsfähigkeit der untersuchten Muskulatur, liefert jedoch keinen Beitrag zu Steuerungsparametern wie z. B. optimale Belastungshöhe, -dauer oder Erholungszeit.

Die Untersuchungsmethode ist vielmehr darauf ausgerichtet, für den jeweiligen Probanden möglichst optimale Arbeitsbedingungen (sei es für das Training oder im Beruf) festzustellen.²⁴³

Die von HERTER in Hinblick auf die Validität vorgenommene Überprüfung der Muskelaktivität mittels EMG ist zwar eine sehr aufwendige Methode, aber für eine optimale Belastungssteuerung wünschenswert. Denn letztlich kann nur so sichergestellt werden, dass die Bewegungen an den verschiedenen Geräten in dem Sinne exakt ausgeführt werden, dass die Muskeln arbeiten, die aktiviert werden sollen und es nicht zum unnötigen Einsatz von Hilfsmuskeln kommt. Dies ist ein Punkt, der u.a. auch für eine genaue Belastungsdiagnostik wichtig ist.²⁴⁴

Anzumerken bleibt, dass die oben aufgezählten wünschenswerten Vorgaben für optimale Trainingsgeräte allenfalls in Versuchslaboren realisierbar sind, nicht jedoch in Institutionen wie z.B. Fitness-Studios oder auch Rehabilitationseinrichtungen. Hier sind zumindest die Möglichkeiten für eine Atemgasanalyse oder auch EMG-Messungen eher eingeschränkt.

Zwar liefern gut ausgestattete Sequenztrainingsgeräte (oder ggf. Isokinetikgeräte) exakte Messergebnisse, doch damit allein ist eine Belastung nicht zu steuern. So stellt sich die Frage, welche Belastung (Höhe, Dauer etc.) für das jeweils angestrebte Ziel optimal ist und wie diese Belastung festgelegt werden kann.

In der Diskussion über die Anwendung bzw. Güte der verschiedenen nicht-apparativen Krafttests (EWM und LWV) gibt es bislang keinen allgemeingültigen Konsens. Die eigenen Untersuchungsergebnisse haben verdeutlicht, dass diese beiden Tests entgegen der Annahme in Hypothese 2a keine exakte Festlegung der Belastungsintensität gewährleisten können, da sie unterschiedlich gelagerten Schwierigkeiten unterliegen, die nicht zuletzt in dem Gesundheits- und Trainingszustand, der Motivation und der Psyche des jeweiligen Probanden begründet sind.²⁴⁵

Doch selbst mit der Annahme, dass reliable und valide Maximalkraftmessungen möglich sind, bleibt die Frage, ob die klassischen Trainingsmethoden sinnvoll sind und entsprechend der Hypothese 2 differenzierte Trainingsergebnisse liefern.

²⁴³ Vgl. HERTER (1998, S. 115 u. 125ff).

²⁴⁴ Vgl. Kap. 7.2.

²⁴⁵ Vgl. Kap. 4.1 und 7.1.

Die vorliegende Untersuchung demonstriert, dass die Intensität zumindest im Verlauf der ersten Trainingswochen nicht allein für das Erreichen eines Zieles (z. B. Kraftzuwachs) verantwortlich sein kann. Die nicht konsistenten Ergebnisse zeigen vielmehr, dass neben der Trainingsintensität noch eine Reihe anderer Faktoren das Trainingsergebnis beeinflussen, so u.a. der Gesundheitsstatus und/oder Trainingszustand sowie die Psyche der Probanden.

Nicht nur die Ergebnisse der Krafttests in vorliegender Studie sondern auch die Untersuchungen von BUSKIES/BOECKH-BEHRENS werfen zudem die Frage auf, ob die Festlegung der Belastungsintensität anhand von Krafttests sinnvoll ist.²⁴⁶

Verschiedene Autoren verweisen darauf, dass eine optimale Belastung nicht generell in Prozent der Maximalkraft gefasst werden kann, sondern sich vielmehr an der jeweiligen Beanspruchung orientieren sollte. Während einige Autoren davon ausgehen, dass je nach Zielsetzung eine bestimmte Anzahl an Wiederholungen zu leisten sein sollte, die letztendlich jeweils zur völligen Erschöpfung führen, zeigen andere Untersuchungen, dass auch ein sog. „sanftes Krafttraining“, bei dem nicht bis zur Ausbelastung gearbeitet wird, zu Kraftzuwachsen führt.²⁴⁷ Jedoch ist zu bedenken, dass auch diese Belastungssteuerung von der Persönlichkeit (Motivation, Willensstärke u.ä.) des Trainierenden abhängen kann.

Eine weitere Möglichkeit der Belastungssteuerung bietet die RPE-Skala. Doch wie die vorliegenden Untersuchungsergebnisse darlegen, ist die subjektive Belastungseinschätzung sowohl von der Trainingsmethode als auch in besonderem Maße von den einzelnen Trainingsgeräten abhängig, d.h. die eingangs aufgestellte Hypothese 3 trifft nicht zu. Dies bedeutet, dass es keine generelle und enge Korrelation zwischen Belastungshöhe (in % Fmax) und RPE-Werten gibt und das subjektive Belastungsempfinden allenfalls Ergänzung, nicht jedoch alleiniges Steuerungselement für die Festlegung der optimalen Lasthöhe sein kann. Sinnvoll eingesetzt werden kann die RPE-Skala ggf. zur Überwachung der Lasthöhe im kurzfristigen Trainingsverlauf, um Maximalkrafttests zu vermeiden. Die Arbeit mit der RPE-Skala kann zudem ggf. Motivations- sowie Tagesformschwankungen des jeweils Trainierenden auffangen, indem anhand des subjektiven Empfindens die Lasthöhe vorübergehend variiert wird.

Neben der Frage nach der Bestimmung der optimalen Lasthöhe gibt es in Hinblick auf die Trainingsmethode eine breite Diskussion über die Wirksamkeit von Einsatz- versus Mehrsatztraining. Für beide Trainingsformen gibt es gute Argumente, wobei

²⁴⁶ Vgl. Kap. 71. sowie BUSKIES/BOECKH-BEHRENS (1999).

²⁴⁷ Vgl. u.a. BÜHRLE (1985), MARSCHALL/FRÖHLICH (1999), BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996) und BUSKIES (1999).

vor allem das Trainingsziel sowie die Persönlichkeit des Trainierenden ausschlaggebend für die Wahl des Trainings zu sein scheinen. Verschiedene Untersuchungen geben Hinweise darauf, dass Einsatz-Training bei Untrainierten zumindest anfangs ähnlich hohe Kraftgewinne hervorrufen kann wie ein Mehrsatz-Training, dauerhaft jedoch das Mehrsatz-Training (vor allem im Bereich der Kraftausdauer, aber auch bei der Maximalkraft sowie der Schnellkraft) dem Einsatz-Training überlegen ist.²⁴⁸ Andere Studien hingegen schreiben dem Einsatz-Training höhere Kraftzuwächse zu.²⁴⁹ Für keine der beiden Methoden scheint es signifikante Untersuchungsergebnisse zu geben, die eindeutig auf eine Überlegenheit einer der beiden Methoden schließen lassen. Dies liegt u. a. an den verschiedenen Untersuchungsdesigns, vor allem in der Ausführung des Einsatz-Trainings, das häufig nicht mit ausreichender Intensität und bis zur völligen objektiven Erschöpfung durchgeführt wird.²⁵⁰ Nach aktuellem Stand der Diskussion stehen sich nach wie vor zwei „Meinungslager“ gegenüber, die dem Einsatz-Training respektive dem Mehrsatz-Training den Vorzug geben. Da das Einsatz-Training aufgrund seiner sehr viel geringeren Trainingszeit nicht nur für Anfänger und Freizeitsportler, sondern vor allem auch für Patienten in der Rehabilitation überaus attraktiv und motivationsfördernd ist, ist zu überlegen, inwieweit die Steigerung der Motivation die ggf. vorhandenen Defizite im Vergleich zum Mehrsatz-Training ausgleichen kann.

Unabhängig davon, welche Trainingsform mit welcher Intensitätsfestlegung gewählt wird, muss die Belastung im Training sowohl in Hinblick auf die individuelle Beanspruchung als auch auf die zeitliche Abfolge der Trainingseinheiten optimal gewählt werden. Tritt häufig Muskelkater auf oder kommt es gar zu Trainingsrückschritten, kann davon ausgegangen werden, dass die Belastung zu hoch bzw. die Regenerationszeit zu gering war. In einem optimalen Training sollen diese Folgen mit Hilfe der Belastungsdiagnostik vermieden werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu den biochemischen H-FABP und MB zeigen keine eindeutigen Befunde, welche die aufgestellten Hypothesen bestätigen könnten. Zwar geben beide Parameter Belastungen recht zuverlässig wieder, jedoch kann in der vorliegenden Studie nicht eindeutig der Nachweis erbracht werden, inwieweit die festgestellte Belastung tolerierbar bzw. beabsichtigt ist oder bereits eine Überbelastung darstellt. Dies liegt in erster Linie an den bereits angeführten Schwächen der benutzten Sequenzgeräte, die keinen exakten „Input“ für die bioche-

²⁴⁸ Vgl. z. B. STOWERS (1983), DEHOYOS/POLLOCK (1998), SANBORN et al. (1998), MARX et al. (1998), und SCHLUMBERGER/STEC/SCHMIDTBLEICHER (2001).

²⁴⁹ Vgl. z. B. MILLER et al. (1994), KIESER (1998) und PHILIPP (1999a).

²⁵⁰ Vgl. PHILLIP (1999b).

mische Diagnostik liefern konnten. Zudem sind bei der Interpretation der Daten verschiedene, die Parameterauslenkung beeinflussende individuelle Faktoren zu berücksichtigen. Die wichtigsten Faktoren sind in der Tab. 8.1 aufgeführt, wobei Trainingsform und Übungsausführung mittels optimal ausgestatteter Geräte transparent gemacht werden können, die anderen Punkte ggf. durch ein geeignetes Untersuchungsdesign bestimmt werden könnten.

• Muskelmasse und Muskelfasertypenbesatz
• Beruf bzw. regelmäßig ausgeübte körperliche Tätigkeiten neben dem Training
• Trainings- bzw. Gesundheitsszustand und Ernährung
• Individuelle Clearance-Rate für H-FABP und Myoglobin (Unterscheidung in „Low- oder High-Responder“)
• Trainingsform (Trainingsdauer und –intensität)
• Übungsausführung (konzentrische / exzentrische Bewegungen)

Tab. 8.1: Faktoren, die Einfluss auf die Ausschüttung der biochemischen Parameter H-FABP und Myoglobin haben können (Vgl. Kap. 7.2).

Letztlich ist jedoch zu bedenken, dass eine (Blut)Analyse stets einige Zeit in Anspruch nimmt und die Urinanalyse (d. h. das nicht-invasive Verfahren) noch nicht ausgereift ist, d.h. die Daten sind nicht schnell genug verfügbar und erlauben daher in erster Linie eine Kontrolle der möglichst optimalen Lasthöhe, weniger jedoch die Überprüfung einer ausreichenden Regeneration. Dennoch könnten die beiden Parameter nach entsprechenden weiterführenden Untersuchungen in Zukunft durchaus für eine relativ präzise Belastungsdiagnostik geeignet sein.

Bislang scheint es noch keine reliablen, spezifischen und sensitiven physiologische Parameter zur frühzeitigen Diagnostik von Übertraining zu geben.²⁵¹ Doch ein ausgewogener und gezielter Erholungsprozess ist nicht nur für die physische Regeneration von Bedeutung, sondern auch für einige psychische Faktoren wie z. B. das Wohlbefinden oder die Stimmungslage. Mithin kann Übertraining u.a. zu Schlafstörungen oder gar depressiven Verstimmungen führen.²⁵² Dementsprechend sollte es möglich sein, mit Hilfe psychologischer Indikatoren relativ stabil und zuverlässig ein Übertrainingszustand zu erkennen.²⁵³

²⁵¹ Vgl. z. B. auch KUIPERS, H. (1998) und KELLMANN (2000).

²⁵² Vgl. z. B. LEHMANN/FOSTER/KEUL (1993) und KELLMANN et al. (1997).

²⁵³ Vgl. u.a. HOOPER/MACKINNON (1995), KENTTÄ/HASSMEN (1998) und HOOPER/MACKINNON/HOWARD (1999).

Mögliche Instrumente hierzu bieten die RPE-Skala, der POMS (Profile of mood states) sowie verschiedene Modifikationen des Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler.²⁵⁴ Mittels der RPE-Skala kann z. B. dann wachsende Erschöpfung festgestellt werden, wenn die gleiche Belastung im Verlauf mehrerer Trainingstage als zunehmend anstrengender empfunden wird. Der POMS erfasst allgemeine Stimmungen und Befindlichkeitszustände und wurde ursprünglich für den klinischen Gebrauch entwickelt.²⁵⁵ Für eine differenzierte Betrachtung von Erholung ist er jedoch nur bedingt einsetzbar, da er keine konkreten Aussagen über die Erschöpfungsursachen liefert.²⁵⁶ Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler schließlich informiert über den aktuellen Beanspruchungszustand des Sportlers und ist mit $r = .79$ als recht zuverlässig zu bezeichnen.²⁵⁷ Trotzdem sollte die Diagnostik eines Übertrainingzustandes nicht allein auf Grundlage eines psychometrischen Verfahrens erstellt werden.²⁵⁸

Dementsprechend könnte eine gezielte Kombination von psychologischen und physiologischen Indikatoren und Indizien eine annähernd optimale Beanspruchungsdiagnostik ermöglichen.

Die vorangegangenen Überlegungen zur Belastungssteuerung zeigen, dass fast alle entscheidenden Parameter in unterschiedlichem Maße mit der Psyche des Trainierenden verknüpft sind, wobei es sich, wie in Hypothese 4 postuliert, nicht um eine einseitige Beeinflussung handelt. Nicht nur wird das Training durch die Persönlichkeit des Probanden mitbestimmt, ebenso kann das Training auch Einfluss auf die Psyche nehmen. Über letztere Annahme wird in der Literatur nach wie vor heftig diskutiert. So gibt es eine Vielzahl von Studien über den Einfluss verschiedener sportlicher Betätigungen auf das Wohlbefinden sowie Angst- oder Depressionszustände, die zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.²⁵⁹ Diese Ergebnisse sind z. T. kritisch zu beurteilen, da das Untersuchungsdesign nicht immer die konkrete Aussage zulässt, dass tatsächlich der Sport als einziger Faktor für die positiven Bewusstseinsänderungen in Frage kommt.

In einem Übersichtsartikel weisen ARENT/ROGERS/LANDERS darauf hin, dass Sport lediglich für bereits an Angststörungen oder Depressionen leidenden Personen

²⁵⁴ Vgl. KELLMANN, M. (2000).

²⁵⁵ Vgl. MCNAIR/LORR/DROPPELMANN (1971, 1992).

²⁵⁶ KELLMANN (2000,255).

²⁵⁷ Vgl. KELLMANN/KALLUS (2000).

²⁵⁸ KELLMANN (2000,257).

²⁵⁹ Vgl. u.a. KOLTYN et al. (1995), PALMER et al. (1995), PARFITT/ESTON/CONNOLLY (1996), CORBIN/PANGRAZI (1996), TREASURE/NEWBERRY (1998), PERRIG-CHIELLO (1998),

nachweisbar positive Auswirkungen hat, gesunde, normale Probanden aber nicht „normaler“ macht.²⁶⁰ Weiter geben die Autoren zu bedenken, dass die Untersuchungsergebnisse zur Auswirkung des Sports auf das Wohlbefinden nicht so gesichert sind wie die Ergebnisse hinsichtlich von Angst- und/oder Depressionserkrankungen.

Auch die in der vorliegenden Studie erhobenen Aussagen zu verschiedenen Aspekten der psychischen Gesundheit können nicht als gesicherte Erkenntnisse betrachtet und die Hypothese 4 dementsprechend nicht eindeutig bestätigt oder verworfen werden. Allerdings kann, selbst wenn die Aussagen der Probanden nicht allein auf das Training zurückzuführen sind, doch davon ausgegangen werden, dass das Training zumindest indirekt einen mehr oder weniger großen Anteil an der Zunahme des Wohlbefindens sowie des Körperbewusstseins gehabt hat, wobei die Gründe hierfür sehr vielschichtig sein können.²⁶¹ Dies hat Auswirkungen auf die Motivation der Probanden, die insofern gestärkt wird, als die Probanden die positiven Auswirkungen erhalten oder gar verstärken wollen und zu diesem Zweck das Training motivierter weiterverfolgen. Durch diesen Motivationsanreiz kann das Training bzw. einige Faktoren der Leistungssteuerung positiv beeinflusst werden, d.h. hier schließt sich der Kreis zwischen den Auswirkungen des Sports auf die Psyche und die Auswirkungen der Psyche auf das Training. Doch wie lässt sich dieser Kreislauf regulieren?

Eine Möglichkeit bietet eine stark individuell ausgerichteten Trainingssteuerung, die nicht nur die physischen Voraussetzungen des Trainierenden berücksichtigt, sondern auch die Persönlichkeit, Psyche und nach Bedarf sogar das soziale Umfeld der Person mit einbezieht. Dies bedeutet beispielsweise, dass das Training vorrangig nach den Fähigkeiten, Möglichkeiten und Zielen des Individuums ausgerichtet wird und möglichst komplex angelegt ist, was vor allem für Patienten in der Rehabilitation wichtig ist.

Insbesondere im Bereich der Rehabilitation von Rückenpatienten hat sich die Einbettung des Krafttrainings in sogenannte multimodale Behandlungsmodelle bewährt. In diesen Rehabilitationsformen werden somatische Trainingseinheiten und psychosoziale Behandlungsansätze eingesetzt, was bedeutet, dass das Krafttraining durch spezielle Schulung, Stretching, Ausdauertraining, Entspannungsübungen, Psychothe-

BARTHOLOMEW/LINDER (1998) TSUTSUMI et al. (1998), ARENT/LANDERS/ETNIER (2000) und Kap. 5.2.

²⁶⁰ Vgl. ARENT/ROGERS/LANDERS (2001).

²⁶¹ Vgl. u.a. Kap. 5.2 und 7.4 sowie SCHLICHT (1994), FUCHS/HAHN/SCHWARZER (1994) und ARENT/ROGERS/LANDERS (2001)

rapie sowie Arbeits-, Haltungs- und Bewegungstraining begleitet wird.²⁶² In dem „Göttinger Rücken Intensiv Programm“ (GRIP) z. B. setzten sich dadurch die Untersuchungsparameter für jeden Patienten aus einer Vielzahl verschiedener Faktoren zusammen: soziodemographischen Parametern (Alter, Geschlecht etc.), einer Schmerzanamnese (Intensität, Dauer, Lokalität, Medikamente etc.), Psychologischen Faktoren (Depressivität, Globale Beeinträchtigung der Lebensqualität u.a.), einer Arbeitsanamnese (Beruf und damit zusammenhängende Faktoren), Somatischen Befunden (Beweglichkeit u.a.), Kraftparametern (kalisthenische und isokinetische Krafttests) sowie Erfolgsparametern (u.a. Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit).²⁶³

Neben dem Krafttraining wird vor allem auf individuelle Faktoren eingegangen. So wird das gesamte Krafttraining nach dem AME-Prinzip („acceptable maximum effort“) durchgeführt, welches von der Annahme ausgeht, dass der Trainierende die Kraft aufwendet, die ihm möglich ist, ohne einen für ihn nicht tolerierbaren Schmerz zu produzieren.²⁶⁴

Der Erfolg dieser multimodalen Behandlungsmodelle ist unumstritten. Neben einer Zunahme der Beweglichkeit sowie (einiger) Kraftparameter verringert sich zumeist die Schmerzintensität, die globale Beeinträchtigung sowie die psychovegetativen und depressiven Symptome, wodurch ein Wiedereinstieg in den Beruf für rund Zweidrittel der vorher arbeitsunfähigen Patienten möglich wird.²⁶⁵ Nicht feststellbar ist bei diesen Programmen jedoch, welcher Behandlungsparameter wie viel Einfluss auf das Endergebnis hat. Es lässt sich kaum überprüfen, ob das Krafttraining, die Psychotherapie, das Arbeitstraining oder ein anderer Baustein der Behandlung maßgeblich für den Erfolg verantwortlich ist. Dies ist jedoch auch nicht die Intention des multimodalen Konzeptes. Im Vordergrund steht vielmehr die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Patienten, unabhängig davon, bei welchem Individuum welcher Behandlungsbaustein am besten anschlägt. Möglich ist dafür durchaus eine individuelle Anpassung des Trainings an die jeweiligen Bedürfnisse des Patienten, indem z. B. diejenigen Bausteine intensiviert werden, die von dem Patienten (nach subjektivem Empfinden) am besten angenommen werden. Bei diesem Behandlungsmodell wird zwar deutlich, dass ein positives Ergebnis auch ohne exakte Steuerung möglich ist, die Frage ist jedoch, ob mit einer optimalen Steuerung u.a. des Krafttrainings nicht bessere und kontrolliertere Ergebnisse erzielt werden könnten.

²⁶² Vgl. z. B. SERES/NEWMAN (1976), CAIRNS/MOONEY/CRANE (1984), RAINVILLE et al. (1992), RAINVILLE/AHERN/PHALEN (1993), TALO et al. (1994), BENDIX et al. (1996), SAUR (1998).

²⁶³ Eine genaue Aufschlüsselung aller Parameter findet sich bei SAUR (1998, S.13, Tab. 5).

²⁶⁴ Vgl. KHALIL et al. (1987).

²⁶⁵ Vgl. SAUR (1998).

Das führt zurück zur Basisfrage, ob mittels einer gezielten Kombination verschiedener (physischer sowie psychischer) Steuerungs- und Diagnostikmethoden ein Krafttraining optimiert werden kann. Die in der vorliegenden Studie herangezogenen Geräte und Parameter sind in der angewandten Form allein auf jeden Fall nicht für eine Optimierung geeignet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bereits vor Beginn des Trainings große Fehlerquellen allein durch gerätespezifische Charakteristika (fehlende bzw. ungenaue Messergebnisse, nur bedingt exakt einstellbare Trainingsgewichte, variable und nicht messbare individuelle Bewegungsausführungen etc.) sowie durch die Festlegung des Trainingsgewichts mittels einer der beiden Krafttests entstanden sind. Eine weitere große Fehlerquelle bildet die psychische wie physische Tagesform der Probanden sowie individuelle muskuläre Voraussetzungen. Bei Patienten in der Rehabilitation kann als weiterer Faktor die Angst vor Schmerzen bei der Bewegung oder einer erneuten Verletzung hinzukommen. All diese Faktoren führen dazu, dass bereits der in die Belastungsdiagnostik eingehende „Input“ keine exakt definierte und normierte Größe mehr ist. Dementsprechend ist der anhand biochemischer Indikatoren für die Belastung ermittelte „Output“ ungenau. Das bedeutet, dass unabhängig von der Güte der biochemischen Diagnostik bereits beträchtliche primäre Fehlerquellen auf die Belastungsdiagnostik einwirken. Kommen zudem innerhalb der biochemischen Verfahren Unwägbarkeiten hinzu, ist die Aussage der Belastungsdiagnostik mehr als fraglich.

Für eine Optimierung des Krafttrainings müssen somit verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Da die Persönlichkeit des Trainierenden (Psyche, Motivation, Willensstärke etc.) in fast allen Bereichen eine mehr oder weniger große Rolle für ein erfolgreiches Training spielt ist es unerlässlich, die psychischen und sozialen Komponenten in ein Trainingskonzept einzubeziehen. Folglich ist es nötig, das Training so weit wie möglich auf das Individuum abzustimmen. Dies muss sich sowohl auf die Trainingsform beziehen, etwa in Hinblick auf die Auswahl von Einsatz- oder Mehrsatz-Training oder die Festlegung der Trainingsintensität (durch geeignete Krafttests oder ggf. anhand der RPE-Skala plus Ausbelastung), als auch auf das soziale Umfeld (z. B. Trainingsräume, individuelle personelle Betreuung sowie begleitende Beratung z.B. zur Erholung, Ernährung oder weiterführenden gymnastischen Übungen für zuhause).

Auf der Basis eines dergestalt individuell ausgerichtete Trainings muss als zweiter Schritt eine objektive Belastungssteuerung angestrebt werden. Um einen möglichst eindeutigen Input zu erreichen, muss das Training mit geeigneten Mitteln und Me-

thoden durchgeführt werden. Hierzu zählen vor allem optimierte Trainingsgeräte und Krafttests, aber auch eine konstante psychische Betreuung und eine geeignete Trainingsform. Erst auf dieser Grundlage können (ausgereifte) biochemische und psychometrische Verfahren eine exakte Belastungssteuerung mittels eines eindeutigen „Outputs“ gewährleisten.

Folglich ist es empfehlenswert, in weiterführenden Studien die Auswirkungen verschiedener individuell ausgerichteter Trainingsmethoden bzw. Trainingskonzepte (z.B. Einsatz- versus Mehrsatz-Training, individuelle Lasthöhen, komplexe Programme in Anlehnung an die multimodalen Behandlungskonzepte bei Rückenpatienten), auf die RPE-Werte, die Psyche (psychometrische Verfahren), den körperlichen Zustand (Muskelkater, Muskelsteife u.ä.) sowie die biochemischen Parameter (H-FABP und Myoglobin) im jeweiligen Trainingsverlauf zu untersuchen.

9 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird den Fragen nachgegangen, wie die (methodischen) Rahmenbedingungen für ein optimales Krafttraining gestaltet sein müssen und ob durch eine Kombination verschiedener Steuerungs- und Diagnostikverfahren sowie durch die Einbeziehung psychischer und sozialer Komponenten ein (rehabilitatives) Krafttraining optimiert werden kann.

Hierzu werden im Rahmen einer Pilotstudie mittels der Analyse von Blut- und Urinproben die biochemischen Parameter Myoglobin und Heart-Fatty-Acid-Binding-Protein (H-FABP) auf ihre Eignung hinsichtlich der Leistungsdiagnostik und Belastungssteuerung im (rehabilitativen) Krafttraining überprüft. Zugleich werden "konventionelle" Methoden der Belastungssteuerung (Maximalkrafttests, Borg-Skala) eingesetzt, die nicht nur Vergleichswerte liefern, sondern auch darüber Aufschluss geben, ob eine Kombination der verschiedenen Verfahren ggf. optimierte Trainingsbedingungen schaffen könnte. Die ausgewählten Diagnostikmethoden wurden an Hand normierter Trainingsprogramme in fünf verschiedenen Trainingsgruppen sowohl an gesunden Probanden als auch an Patienten in der orthopädischen Rehabilitation überprüft und analysiert. Zudem wird hinterfragt, ob und inwieweit Krafttraining Einfluss auf die psychische Gesundheit hat bzw. wie sich die hierbei ggf. auftretenden Veränderungen auf die Trainingssteuerung auswirken. In Hinblick auf diese Überlegungen wird ein einfacher Fragebogen der Probanden ausgewertet.

Hinsichtlich der aufgeworfenen Fragestellung kann festgehalten werden, dass die in der vorliegenden Studie herangezogenen Geräte und Parameter in der angewandten Form allein nicht für eine Optimierung geeignet sind. Dies hat verschiedene Ursachen, die in unterschiedlich hohem Maße zum Tragen kommen.

So macht die Studie deutlich, dass die Geräte für eine gezielte Belastungssteuerung über eine Reihe von Messeinrichtungen verfügen müssen, um alle eine Bewegung charakterisierenden Größen und Parameter erfassen zu können. Aber selbst wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, taucht als nächstes Problem die Verwendung von Maximalkrafttests zur Festlegung der Lasthöhen auf. Im Vergleich der beiden benutzten Maximalkrafttests kann gezeigt werden, dass große Unterschiede zwischen den beiden Tests bestehen. Hierbei wird zwar die Tendenz festgestellt, dass die Tests mit dem Last-Wiederholungs-Verhältnis (LWV) zumeist höhere Maximalkraftwerte (F_{max}) liefern als das Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM), jedoch sind die Abweichungen so groß, dass eine pauschale Aussage in dieser Richtung nicht statthaft ist. Als Ursachen für die mangelnde Übereinstimmung der Maximalkrafttests können eine Reihe verschiedener Faktoren eine Rolle spielen. Zu

nennen sind sowohl individuelle Voraussetzungen wie Muskelfasertypenbesatz, Gelenkwinkel und Trainingszustand als auch die Motivation sowie die Psyche der Probanden (Tagesform). Daneben könnten zudem die Anzahl sowie die Größe der jeweils beanspruchten Muskelgruppen oder aber auch Variationsmöglichkeiten in Bewegungsausmaß und-zeit ins Gewicht fallen. Die Ergebnisse der Krafttests in vorliegender Studie werfen generell die Frage auf, ob Krafttests zur Belastungssteuerung überhaupt sinnvoll sind.

Insgesamt ist festzuhalten, dass bereits vor Beginn des Trainings große Fehlerquellen allein durch die nur unzureichend ausgerüsteten Trainingsgeräte (und die daraus resultierenden mangelhaften Ergebnisse) und die Festlegung des Trainingsgewichts mittels einer der beiden Krafttests entstanden sind. Zudem sind individuelle muskuläre Voraussetzungen sowie in dieser Studie nicht messtechnisch erfassten Merkmale wie z. B. die individuelle Bewegungsausführung oder die Beanspruchung unterschiedlich vieler Muskeln bzw. Muskelgruppen zu berücksichtigen. Eine weitere große Fehlerquelle bildet die psychische wie physische Tagesform der Probanden. Bei Patienten in der Rehabilitation kann zudem die Angst vor Schmerzen bei der Bewegung oder einer erneuten Verletzung hinzukommen.

In den Untersuchungen zur biochemischen Belastungsdiagnostik lässt sich in allen Gruppen nach der Belastung ein mehr oder weniger hoher (qualitativer) Konzentrationsanstieg von FABP und Myoglobin im Plasma erkennen. Jedoch erlauben die ermittelten Daten vor allem aufgrund der ungenauen Messergebnisse des Krafttrainings keine einheitliche Interpretation. Die Belastungsdiagnostik unter Verwendung dieser beiden biochemischen Parameter wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Voraussetzungen und Gegebenheiten beeinflusst. Es muss davon ausgegangen werden, dass neben dem unzureichendem „Input“ der Krafttrainingsdaten die Anhäufung mehrerer Faktoren bei der in dieser Studie festgestellten unterschiedlich hohen Ausschwemmung von FABP und Myoglobin eine Rolle spielen. Hierzu zählen individuelle Voraussetzungen wie Muskelmasse und Muskelfasertypenbesatz, individuelle Clearance-Rate bzw. die Unterscheidung in „Low- oder High-Responder“ aber auch andere Merkmale wie z. B. Beruf, Trainingszustand und Ernährung.

Auch die RPE-Skala ist als Instrument der Belastungssteuerung nur bedingt einsetzbar. So variiert die Belastungseinschätzung sowohl in Abhängigkeit vom Trainingsgerät als auch der Trainingsintensität; d. h. in allen Trainingsgruppen kann eine Gewöhnung sowohl an die Geräte als auch an die jeweils eigene Trainingsintensität festgestellt werden. Die persönliche Belastungseinschätzung hängt von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren ab. Neben den sogenannten „zentralen und lokalen Faktoren“ (Herzfrequenz, Atemminutenvolumen,

Sauerstoffaufnahme, Laktatgehalt, pH-Wert und Energiebereitstellung) ist vor allem auch der Einfluss der Motivation, der Tagesform und nicht zuletzt der Psyche des jeweils Trainierenden auf die RPE-Skala zu berücksichtigen.

Fast alle entscheidenden Parameter der Belastungssteuerung sind mehr oder weniger stark mit der Psyche des Trainierenden verknüpft. Die in den Fragebögen aufgeführten Antworten weisen darauf hin, dass das Training bei einem Großteil der befragten Personen einen positiven Einfluss auf die psychische Gesundheit hat. So wird in beiden Gruppen von annähernd gleich vielen Personen eine Zunahme von Zufriedenheit und Ausgeglichenheit angegeben sowie vor allem von der Gruppe der Patienten zudem eine Steigerung des Selbstwertgefühls. Ein weiterer wichtiger Punkt stellt die Erhaltung bzw. die Steigerung der Motivation im Verlauf des Trainings dar. Während die gesunden Probanden in der Mehrzahl über den gesamten Trainingsverlauf gut motiviert waren und das Training gerne fortgesetzt hätten, ließ bei vielen Patienten die Motivation etwas nach, was u.a. in dem hohen zeitlichen Aufwand begründet war. Der Erhalt der Motivation jedoch ist wichtig, um gute Trainingsfortschritte zu erreichen, mangelnde Motivation hingegen kann zu einer Stagnation der Trainingserfolge führen, was sich wiederum negativ auf das Training auswirkt.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass es für eine Optimierung des Krafttrainings unerlässlich erscheint, die psychischen und sozialen Komponenten mit einzubeziehen. Eine über einen längeren Zeitraum hinweg effektive Leistungssteigerung kann es nur auf der Basis eines generell individuell angepassten Trainings geben, wobei sich diese Ausrichtung sowohl auf die Trainingsform als auch auf das soziale Umfeld beziehen müsste. Erst auf der Basis dieses individuell gestalteten Trainings kann dann eine objektive Belastungssteuerung mit geeigneten Mitteln und Methoden angestrebt werden. Hierzu zählen z. B. geeignete Geräte und Krafttests sowie eine Überprüfung der Belastung mittels (ausgereifter) biochemischer und psychometrischer Verfahren.

In weiterführenden Studien müssen dementsprechend die Auswirkungen verschiedener individuell angepasster Trainingsmethoden bzw. Trainingskonzepte auf die RPE-Werte, die Psyche, den körperlichen Zustand sowie die biochemischen Parameter im jeweiligen Trainingsverlauf untersucht werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- ABELE, A. / BREHM, W. / GALL, T.: Sportliche Aktivität und Wohlbefinden.- In: Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik / von Andrea Abele und Peter Becker (Hrsg.).- Weinheim/ München, Juventa-Verlag, 1991, S. 279-296.
- ABELE, A. / BREHM, W. / PAHMEIER, I.: Sportliche Aktivität als gesundheitsbezogenes Handeln.- In: Gesundheitspsychologie: Ein Lehrbuch / von Ralf Schwarzer (Hrsg.).- 2. überarb. Und erw. Aufl. – Göttingen/Bern/Toronto/Seattle, Hogrefe, 1997, S. 117-150.
- ALFERMANN, D. et al.: Auswirkungen des Sporttreibens auf Selbstkonzept und Wohlbefinden.- In: Sportpsychologie (2), 1993, S. 21-27.
- AMSTRONG, LE et al.: Using isokinetic dynamometry to test ambulatory patients with MS. – In: Physical Therapy Vol. 63 (8), 1983, S. 1274-1279.
- ARENT, S. M. / ROGERS, T. J. / LANDERS, D. M.: Mental Health and Physical Activity: The Effects of Physical Activity on Selected Mental Health Variables: determining Causation.- In: Sportwissenschaft 31 (3), 2001, S. 239 – 254.
- ARENT, S.M./ LANDERS, D. M./ ETNIER, J.L.: The effects of exercise on mood in older adults: a meta-analytic review.- In: J Aging Phys Activity 8, 2000, S. 407-430.
- BADTKE, G.: Lehrbuch der Sportmedizin: Leistungsentwicklung, Anpassung, Belastbarkeit, Schul- und Breitensport / von Gernot Badtke. Unter Mitarb. Von Frank Bittmann.....- 3. Neubearb. Aufl. – Heidelberg/Leipzig, Barth, 1995.
- BARTHOLOMEW, J. B. / LINDER, D. E.: State anxiety following resistance training: The role of gender and exercise intensity.- In: J Behav Med 21, 1998, S. 205-219.
- BARWICH, D. et al.: Myoglobin und α_2 -Mikroglobulinkonzentrationen im Serum bei Sportlern vor und nach unterschiedlichen Belastungen. - In: Sport, Leistung und Gesundheit von H. Heck, W. Hollmann, H. Liesen und R. Rost. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1983, S. 45-50.
- BECKER, P.: Theoretische Grundlagen.- In: Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik / von Andrea Abele und Peter Becker (Hrsg.).- Weinheim/ München: Juventa-Verlag, 1991, S. 13-49.
- BENDIX, A. F. et al.: Multidisciplinary intensiv treatment for chronic low back pain : a randomised, prospective study.- In: Cleve Clin J Med 63, 1996, S. 62-69.

- BILLETTER, R. / HOPPELER, H.: Biologische Grundlagen der Muskelkontraktion.-
In: Kraft und Schnellkraft im Sport / von Paavo V. Komi.- Enzyklopädie der
Sportmedizin, Bd. 3.- Köln. Dt. Ärzte Verlag, 1994, S. 51-73.
- BONEN, A. et al: Palmitate transport and fatty acid transporters in red and white
muscles.- In: Am. J. Physiol. 275 (*Endocrinol. Metab.* 38),1998, S. E471-
E478.
- BÖNING, D. : Muskelkater – In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 51 (2), 2000,
S.:63-64.
- BÖS, K.: Dimensionen sportmotorischer Leistungen / von K. Bös und H. Mechling.-
Schorndorf, Hofmann, 1983.
- BORG, G.: Perceived exertions as indicator of somatic stress. – In: Scandinavian
Journal of Rehabilitation Medicine 2 (2), 1970, S.93-98.
- BORG, G.: Psychophysical bases of perceived exertion. – In: Med. Sci. in Sports
Exerc. 14, 1982, S. 377-382.
- BRAITH, R.W. et al.: Effect of training on the relationship between maximal and
submaximal strength.- In: Med Sci in Sports Exerc 25 (1), 1993, S. 132 –
138.
- BUCKLEY, J. P. /ESTON, R. G. / SIM, J.: Ratings of perceived exertion in Braille:
validity and reliability in production mode.- In: Br J Sports Med 34(4),
2000, S. 297-302.
- BÜHRLE, M. / SCHMIDTBLEICHER, D. / RESSEL, H.: Die spezielle Diagnose
der einzelnen Kraftkomponenten im Hochleistungssport.- In: Leistungssport
3, 1983, S.11-16.
- BÜHRLE, M. / SCHMIDTBLEICHER, D.: Komponenten der Maximal- und
Schnellkraft.- In: Sportwissenschaft 11(1),1981, S. 11-27.
- BÜHRLE, M. / WERNER, E.: Das Muskelquerschnittstraining als Bodybuilder.- In:
Leistungssport 3, 1984, S. 5 – 9.
- BÜHRLE, M.: Maximalkraft - Schnellkraft - Reaktivkraft.- In: Sportwissenschaft
19(3), 1989, S.311-325.
- BÜHRLE, M: Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings / von Martin
Bührle.- Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaften, Bd. 56,
1. Aufl., Hoffmann, Schorndorf,1985.
- BUSKIES, W. / BOECKH-BEHRENS, W. U. / ZIESCHANG, K.: Möglichkeiten
der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. – In.:
Sportwissenschaft 2, 1996, S. 170-183.
- BUSKIES, W. / BOECKH-BEHRENS, W. U.: Probleme bei der Steuerung der Trai-
ningsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. – In:
Leistungssport 3, 1999, S. 4-8.

- BUSKIES, W.: Sanftes Krafttraining nach dem subjektivem Belastungsempfinden versus Training bis zur muskulären Ausbelastung. - In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (10), 1999, S. 316-320.
- CAIRNS, D. / MOONEY, V. / CRANE, P.: Spinal pain rehabilitation: inpatient and outpatient treatment results and development of predictors for outcome.- In: Spine, 20, 1984, S. 312-317.
- CARL, K.: Trainingswissenschaft - Trainingslehre.- In: Theorie- und Themenfelder der Sportwissenschaft / von H. Haag; B. G. Strauss; S. Heinze, Schorndorf, 1989, S. 216-228.
- CHEN, I.-W. et al.: Age-, sex-, and race-related differences in myoglobin concentrations in the serum of healthy persons. – In: Clin Chem 26/13, 1980, S. 1864-1868.
- CLARKSON, P. M. / NOSAKA, K. / BRAUN, B.: Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. – In: Med Sci Sports Exerc 24 (5), 1992, S. 512-520.
- CLEMENT, W./ LÖWE, B : Fragebogen zum Körperbild (FKB-20); Handanweisung.- Göttingen: Hogrefe, 1996.
- CORBIN, C. / PANGRAZI, B. (eds.): What you need to know about The Surgeon General's Report on Physical Activity and Health.- In: Physical Activity and Fitness Research Digest, 20 (6), 1996, S. 1-8.
- DE GROOT, M. J. et al.: Measurement of myocardial infarct size from plasma fatty acid-binding protein or myoglobin, using individually estimated clearance rates.- In: Cardiovasc res 44 (2), 1999, S. 247-248.
- De MAREES, H.: Sportphysiologie.- 3 Bände, 2te bzw 3te Aufl., Frankfurt/Main, 1991.
- DEHOYOS, D. / POLLOCK, M. L.: Single set vs. Multiple sets for adult fitness.- IDEA Personal trainer, Mai 1998, S. 7 – 9.
- DELIGNIERES, R. L. / BRISSWALTER, J.: Influence of an added perceptual motor task on perceived exertion: a test of the dissociation effect.- In: Perceptual and Motor Skills, 78, 1994, S. 855-858.
- DUNBAR, C. C. et al.: Accuracy and reproducibility of an exercise prescription based on ratings of perceived exertion for treadmill and cycle ergometer exercise.- In: Perceptual and motor skills, 78 (1994), S. 1335-1344.
- EBBELING, C. B. / CLARKSON, P. M.: Exercise-induced muscle damage and adaptation. – In: Sports Med 7, 1989, S. 207-234.
- EHLENZ, H./ GROSSER, M. / ZIMMERMANN, E.: Krafttraining; Grundlagen, Methoden Übungen, Trainingsprogramme.- BLV Sportwissen: München/Wien/Zürich, 1987.

- EINSINGBACH, T.: Sportphysiotherapie und Rehabilitation von Thomas Einsingbach, Armin Klümper, Lutz Biedermann, 2. Durchges. Aufl., Stuttgart / New York, Thieme, 1992.
- EMERY, C.F. / BLUMENTHAL, J. A.: Effects of exercise training on psychological functioning in healthy Type A men.- In: Psychological Health, 1988 (2), S. 367-369.
- ERDMANN, R.: Wege zur Spitzengesundheit? Anmerkungen zu psychoöogischen Aspekten von Sport und Gesundheit.- In: Sport und Gesundheit / von D. Küpper und L. Kottmann, Schorndorf, Hofmann, 1991, S. 127-138.
- ESTON, R. G. / THOMPSON, M.: Use of ratings of perceived exertion of predicting maximal work rate and prescribing exercise intensity in Patients taking atenolol.- In: Br J Sports Med 31(2), 1997, S. 114-119.
- FRANK, R: Körperliches Wohlbefinden.- In: Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik / von Andrea Abele und Peter Becker (Hrsg.).- Weinheim/München: Juventa-Verlag, 1991, S. 71-96.
- FREIWALD, J./STARISCHKA, S./ ENGELHARDT, M.: Rehabilitatives Krafttraining. Überlegungen zum Krafttraining - Neue Ansätze zur Anwendung und Diagnostik im klinischen Bereich.- In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 44 (9), 1993, S. 368-378.
- FREIWALD, J.: Fitness für Männer.- Reinbek bei Hamburg, 1991.
- FREY, G.: Sport und Gesundheit.- In: Sport und Gesundheit / von Doris Küpper und Lutz Kottmann.- Schorndorf, Hofmann, 1991, S. 91-125.
- FROBÖSE, I.: Isokinetisches Training in Sport und Therapie: Steuerung des Trainingsaufbaus nach Sport- und Unfallverletzungen.- Sankt Augustin, Academia-Verl., 1993.
- FUCHS, R. / HAHN, A. / SCHWARZER, R.: Effekte sportlicher Aktivität auf Selbstwirksamkeits-erwartung und Gesundheit in einer streßreichen Lebenssituation.- In: Sportwissenschaft 24 (1), 1994, S. 67-81.
- GHANI, F. et al.: Role of heart-type fatty acid-binding protein in early detection of acute myocardial infarction.- In: Clin Chem 46, 2000, S.718-719.
- GLATZ, J. F. C. / VAN DER VUSSE, G. J.: Cellular fatty acid-binding proteins: current concepts and future directions.- In: Mol Cell Biochim 98, 1990, S. 237-251.
- GLATZ, J. F. C. et al: Fatty acid-binding Protein and the early detection of acute myocardial infarction.- In: Clin Chim Acta 242, 1998, S. 87-92.
- GOLDSPINK, G.: Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels.- In: Kraft und Schnellkraft im Sport / von Paavo V. Komi.- Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln, Dt. Ärzte Verlag 1994, S. 173-182.

- GOODMANN, C. et al.: Biochemical and ultrastructural indices of muscle damage after a twenty-one kilometre run.- In: Aust J Sci Med Sport 29 (4), 1997, S. 95-98.
- GROSLAMBERT, A. et al.: Validation of a rating scale of perceived exertion in young children.- In: Int J Sports Med Feb; 22(2), 2001, S. 116-119.
- GROSSER, M.: Leistungssteuerung in Training und Wettkampf / von Manfred Grosser; Peter Brüggemann; Fritz Zintl.- München/Wien/Zürich, BLV Verlagsges., 1986.
- GÜLLICH, A. / SCHMIDTBLEICHER, D.: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihre Trainingsmethoden. – In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (7+8), 1999, S. 223-.234.
- GUSTAVSON, R. /STREECK, R.: Trainingstherapie im Rahmen der manuellen Medizin.- 2. Aufl., Stuttgart/New York, 1991.
- HARRE, D.: Trainingslehre - Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings / erarb. von einem Autorenkolleg, Gesamted.: Dietrich Harre. [Hilf.: Karlheinz Birkner]. - 10., überarb. Aufl.- Berlin, Sportverl., 1986.
- HEINOLD, M.: Muskelkraftdiagnostik und Muskelkrafttraining bei neuromuskulären Erkrankungen. - Med. Diss., Hamburg, 1994.
- HERTER, W. H. : Die Dynamik des Hebens in der Kritik als Gefährdungsbedingung am Arbeitsplatz : Objektivierung der Belastung durch heben anhand der Bewegung in der Rumpfextension.- Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 1998.
- HETTINGER, Th.: Isometrisches Muskeltraining.- Stuttgart: Thieme, 1964.
- HETZLER, R. K. et al.: Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations.- In: Med Sci in Sports Exerc 23, 1991, S. 88-92.
- HOEGER, W.W.K. et al: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum.- In: J Appl Sport Sci Res 1, 1987, S. 11-13.
- HOFMANN, A.: Überprüfung der Anwendbarkeit prozentualer Intensitätsvorgaben im Krafttraining.- Magisterarbeit, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, 1997.
- HOLLMANN, W.: Zentrale Themen der Sportmedizin / von Wildor Hollmann. Unter Mitarb. von P.-O. Åstrand.- 3., neubearb. Aufl.- Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo, Springer,1986.
- HOLLMANN, W.: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin / von Wildor Hollmann und Theodor Hettinger. – 3. Durchges. Aufl., Studienausg.- Stuttgart / NewYork: Schattauer,1990.

- HOLLMANN, W.: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin / von Wildor Hollmann und Theodor Hettinger. Unter Mitarb. von Heiko K. Strüder.- 4., Aufl.,- Stuttgart/New York, Schattauer, 2000.
- HOOPER, S. L. / MACKINNON, L. T. / HOWARD, A.: Physiological and psychometric variables for monitoring overtraining and recovery.- In: Med Sci Sports Exerc 31, 1999, S. 1205-1210.
- HOOPER, S. L. / MACKINNON, L. T.: Monitoring overtraining in athletes.- In: Sports Med 20, 1995, S. 321-327.
- HOTTENROTT, K.: Trainingssteuerung im Ausdauersport: Theorien – Untersuchungen – Beispiele.- 1. Aufl., Ahrensburg, Czwalina, 1983.
- JACKSON, M. J.: Damage to skeletal muscle during exercises: relative roles of free radicals and other processes. – In: Med Sport Sci 34, 1992, S. 131-139.
- JANSSEN, P. G. J. M.: Ausdauertraining: Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung.- Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 34, 2. Aufl., Erlangen, 1993.
- JANSSON, E. et al.: Increase in myoglobin content and decrease in oxidative enzyme activities by leg muscle immobilization in man.- In: Acta Physiol Scand 132 (4), 1988, S. 515-517.
- KANG, J. et al.: Regulating exercise intensity using ratings of perceived exertion during arm and leg ergometry. - In: European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 78(3), 1998, S. 241-246.
- KELLMANN, M. / KALLUS, K. W.: Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler; Handanweisung. - Verlag Swets Test Service, Frankfurt, 2000.
- KELLMANN, M. et al.: Psychologische Betreuung der Junioren-Nationalmannschaft des Deutschen Ruderverbandes.- In: Psychologie und Sport 4, 1997, S. 123-134.
- KEMPEN, K. P. G. et al.: Skeletal muscle metabolic characteristics before and after energy restriction in human obesity: fibre type, enzymatic β -oxidative capacity and fatty acid-binding protein content.- In: Eur J Clin Invest. 28, 1998, S. 1030-1037.
- KENT, M.(Hrsg): Wörterbuch Sportwissenschaft und Sportmedizin.- Dt. Übers. Und bearb.: Katja Rost und Richard Rost.- Studienausg.- Wiesbaden: Limpert, 1998.
- KENTTÄ, G. / HASSMEN, P.: Overtraining and recovery.- In: Sports Med 26, 1998, S. 1 - 16.
- KHALIL, T.M. et al.: Acceptable maximum effort (AME). A psychophysical measure of strength in back pain patients.- In: Spine 12, 1987, S. 372-376.

- KIENS, B. et al.: Membrane associated fatty acid binding protein (FABP_{pm}) in human skeletal muscle is increased by endurance training.- In: *Biochim Biophys Res Commun* 231 (2), 1997, S. 463-465.(abstract).
- KIESER, W.: Wieviele Sätze beim Krafttraining? – In: *Leistungssport* 28 (3), 1998, S. 50-51.
- KOLTYN, K. F.: Influence of weight training on state anxiety, body awareness and blood pressure.- In: *Int J Sports Med* 16 (4), 1995, S. 266-269.
- KOMI, P. V.: Der Dehnungs-Verkürzungszyklus. - In: *Kraft und Schnellkraft im Sport* / von Paavo V. Komi.- Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln, Dt. Ärzte Verlag 1994, S. 173-182.
- KRAAK, B. / NORD-RÜDIGER, D.: Fragebogen zu Lebenszielen und zur Lebenszufriedenheit (FFL): Handanweisung.- Göttingen: Hogrefe, 1989.
- KRAEMER, W. J. et al.: Physical responses to heavy-resistance exercises with very short rest periods. – In: *Int J Sports Med* 8, 1987, S. 247-252.
- KUIPERS, H.: Training and overtraining: An introduction.- In: *Med Sci Sports Exerc* 30, 1998, S. 1137-1139.
- LAMB, K. L./ ESTON, R. G. / CORNS, D.: Reliability of ratings of perceived exertion during progressive treadmill exercise.- In: *Br J Sports Med* 33, 1999, S. 336-339.
- LANGER, H. H. et al.: Das Verhalten der Plasmamyoglobinkonzentration bei Fahrradergometerbelastung. - In: *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt* / Dt. Ärztekongreß, Berlin, 1984 / von I.-W. Franz, H. Mellerowicz, W. Noack (Hrsg).- Berlin/Heidelberg/New-York/Tokio, Springer Verlag, 1985, S. 397-404.
- LAURIG, W. : Elektromyographie. - In: *Forschungsmethoden i. d. Sportwissenschaft* / von K. WILLIMCZIK, K.,- Frankfurt/Main, 1992, S. 232-239.
- LEHMANN, M.J. / FOSTER, C. / KEUL, J.: Overtraining in endurance athletes: A brief review.- In: *Med Sci Sports Exc* 30, 1993, S. 1140-1145.
- LETZELTER, H / LETZELTER, M.: *Krafttraining*.- Reinbek bei Hamburg, 1986.
- LETZELTER, M.: *Trainingsgrundlagen*.- Reinbek bei Hamburg, 1978.
- LORENZ, R. et al. : Wirkung von isometrischen Maximalkraftbelastungen unterschiedlicher Wiederholungszahl auf den Muskel. – In: *Sportmedizin: gestern – heute – morgen* / von K. Tittel.- Leipzig/ Berlin/Heidelberg, Barth, 1993, S. 99-102.
- MacDOUGALL, J. D.: Hypertrophie und/oder Hyperplasie. - In: *Kraft und Schnellkraft im Sport* / von Paavo V. Komi.- Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln, Dt. Ärzte Verlag, 1994, S. 232-239.
- MALEWSKI, E./ BARWICH, D. / WEICKER, H.: Belastungshypermyoglobinämie bei Sportlern unterschiedlicher Disziplinen – Eine vergleichende Studie. –

- In: Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technischen Umwelt von I.-W. Franz, H. Mellerowicz, W. Noack (Hrsg.).- Berlin/Heidelberg/New York/Tokio, Springer Verlag, 1985, S. 405-410.
- MARKWORTH, P.: Sportmedizin. Reinbek bei Hamburg, 1993.
- MARRIOTT, H. E. / LAMB, K. L.: The use of ratings of perceived exertion for regulating exercise levels in rowing ergometry.- In: Eur J Appl Physiol 72, 1996, S. 267-271.
- MARSCHALL, F. / FRÖHLICH, M.: Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. – In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (10), 1999, S. 311-315.
- MARTIN, D.: Handbuch Trainingslehre / von Dietrich Martin, Klaus Carl; Klaus Lehnertz.- 2., unveränd. Aufl.- Schorndorf, Hofmann, 1993.
- MARX, J. O. et al.: The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women.- In: International Conference on Weightlifting and Strength Training von K. Häkkinen (Hrsg.), Conference Book, Lathi 1998, S. 157-158.
- MASSALGIN, N. A. / USCHAKOV, J. W.: Anwendbarkeit der Elektromyographie zur Beurteilung des Entwicklungsniveaus zentralnervaler Faktoren, die die Effektivität der Schnellkraftbewegungen beeinflussen.- In: Medizin und Sport 19, 1979, S.364.
- MAYHEW, J. L. / BALL, T. E. / ARNOLD, C.: Prediction of 1 RM bench press from submaximal bench press performance in colleges males and females (abstract).- In: J Appl. Sports Sci Res 3, 1989, S. 73.
- MAYRING, P.: Die Erfassung subjektiven Wohlbefindens.- In: Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik / von Andrea Abele und Peter Becker (Hrsg.).- Weinheim/München, Juventa-Verlag, 1991, S. 51-70.
- McHUGH, M. P. et al.: Exercise induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect.- In: Sports Med Mar 27 (3), 1999, S. 157-170.
- McHUGH, M. P. et al.: Exercise-Induced Muscle Damage and Potential Mechanism for the Repeated Bout effect.- In: Sports Med 27 (3), 1999, s. 157-170.
- McNAIR, D. / LORR, M. / DROPPLEMANN, L. F.: Profile of Mood States Manual. Education and Industrial testing Service, San Diego, 1971, 1992.
- McNAIR, D. / LORR, M. DROPPLEMANN, L.F. : Profile of Mood States Manual. – Verlag Educational and Industrial Testing Service, San Diego, 1971, 1992.
- MEERSON, F.: Mechanismen der Adaptation.- In: Wissenschaft in der UdSSR 7, 1973, S. 425-533.

- MILLER, J. P. et al.: Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men.- In: *J Appl Physiol* 77 (3), 1994, S. 1122-1127.
- MORALES, J. / SOBONYA, S.: Use of submaximal repetition test for predicting 1-RM strength in class athletes.- In: *J Strength Cond Res* 10 (3), 1996, S. 186-189.
- MORGAN, W. p. / BORG, G. A. V.: Perception of effort in the prescription of physical activity.- In: *Humanistic and mental aspects of sports, exercise and recreation* / von T. T. Craig, Chicago, American Medical Association, 1976, S. 126-129.
- MORITANI, T.: Die zeitliche Abfolge der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings.- in: *Kraft und Schnellkraft im Sport* / von Paavo V. Komi - Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln, Dt. Ärzte Verlag 1994, S. 266-276.
- MRAZEK, J.: Psyche, Gesundheit und Sport.- In: *Sport und Gesundheit* / von Elke Franke (Hrsg).- Reinbek bei Hamburg, 1986, S. 86-97.
- MUMMENDEY, H.-D.: Selbstkonzept.- In: *Sozialpsychologie 7* von D. Frey und S. Greif (Hrsg.), 2. Aufl. München, 1987, S. 281-285.
- NEUMANN, G.: Sportmedizinische Funktionsdiagnostik.- Leipzig, Barth, 1989.
- NØRREGAARD HANSEN, K. et al.: Muscle cell leakage due to long distance training. - In: *Eur J Appl Physiol* 48, 1982, S. 177-188.
- NOSAKA, K. / CLARKSON, P. M. / APPLE, F. S.: Time course of serum protein changes after strenuous exercise of the forearm flexors.- In: *J Lab Clin Med* 119, 1992, S. 183-188.
- NOSAKA, K. et al: How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last?- In: *Med Sci Sports Exerc* 33 (9), 2001, S. 1490-1495.
- NOTH, J.: Die motorischen Einheiten.- in: *Kraft und Schnellkraft im Sport* / von Paavo V. Komi - Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln, Dt. Ärzte Verlag 1994, S. 33-40.
- OBERSTE, W.: Subjektive Steuerung der Belastungsintensität im Laufausdauertraining. - In: *Bewegung und Gesundheit. Theoretische Grundlagen, empirische Befunde, praktische Erfahrungen* / von J. Wiemeyer und W. Joch.- Münster 1995, S. 71-87.
- OHKARU, Y. et al: Development of a sandwich enzyme-linked immunosorbent assay for the determination of human heart type fatty acid-binding protein in plasma and urine by using two different monoclonal antibodies specific for human heart fatty acid-binding protein.- In: *J Immunol Methods*, 178(1), 1995, Jan 13, S. 99-111 (abstract).

- PALMER, J. A. et al.: effects of type of exercise on depression in recovering substance abusers.- In: *Perceptual and motor skills*, 80, 1995, S. 523-530.
- PAMPUS, B. / LEHNERTZ, K. / MARTIN, D.: Die Wirkung unterschiedlicher Belastungsintensitäten auf die Entwicklung von Maximalkraft und Kraftausdauer.- In: *Leistungssport* 4, 1989, S. 5-10.
- PARFITT, G. / ESTON, R. / CONNOLLY, D.: Psychological affect at different ratings of perceived exertion in high and low-active women: a study using a production protocol.- In: *Perceptual and motor skills*, 82, 1996, S. 1035-1042.
- PARFITT, G. / ESTON, R.: Changes in ratings of perceived exertion and psychological affect in the early stages of exercises.- In: *Perceptual and motor skills*, 80, 1995, S. 259-266.
- PAULUS, P.: Körpererfahrung und Selbsterfahrung in persönlichkeitspsychologischer Sicht.- In: *Körpererfahrung / von J. Bielefeld (Hrsg)*, Göttingen, 1986, S. 87-124.
- PELSERS, M. M. A. L., et al.: Influence of age and sex and day-to-day and within-day biological variation on plasma concentrations of fatty acid-binding protein and myoglobin in healthy subjects.- In: *Clin Chem* 45, 1999, S. 441-443.
- PERRIG-CHIELLO, P: The effects of resistance training on well-being and memory in elderly volunteers.- In: *Age Ageing*, 27 (4), 1998, S. 469-475.
- PHILIPP, M.: Ein Satz genügt! – Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafteraining.- In: *Leistungssport* 29 (1), 1999a, S. 26-28.
- PHILIPP, M.: Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training.- In: *Leistungssport* 29 (4), 1999b, S. 27-34.
- PILZ, G. A.: Sport und Gesundheit. Einige kritische Anmerkungen aus soziologischer Sicht.- In: *Sport und Gesundheit / von D. Küpper und L. Kottmann, Schorndorf, Hofmann*, 1991, S. 109-125..
- PINCIVERO, D. M. et al.: The effects of rest interval on quadriceps torque and perceived exertion in healthy males.- In: *J Sports Med Phys Fitness* 39, 1999, S. 294-299.
- PINCIVERO, D. M. / COELHO, A. J. / ERIKSON, W. H. : Perceived exertion during isometric quadriceps contraction. A comparison between men and women.- In: *J Sports Med Phys Fitness*, 40, 2000, S. 319-326.
- RAINVILLE, J. / AHERN, D.K. / PHALEN, L.: Altering beliefs about pain and impairment in a functionally oriented treatment program for chronic low back pain.- In: *Clin J Pain* 9, 1993, S. 196-201.
- RAINVILLE, J. Et al.: The association of pain with physical activities in chronic low back pain.- In: *Spine*, 17, 1992, S. 1060-1064.

- ROBERTSON, R. J. / GOSS, F. L. / METZ, K. F. : Perception of physical exertion during dynamic exercise : a tribute to Professor Gunnar A. V. Borg.- In: Perceptual and motor skills 86, 1998, S. 183-191.
- ROBERTSON, R. J. et al.: Gender comparison of RPE at absolute and relative physiological criteria. – In: Med Sci Sports Exerc 32 (12), 2000, S. 2120-2129.
- ROBERTSON, R. J. et al.: Validity of the Borg perceived exertion scale for use in semicumbent ergometry during immersion in water.- In: Perceptual and motor skills 83, 1996, S. 3-13.
- ROBERTSON, R. J.: Central signals of perceived exertion during dynamic exercise.- In: Med Sci Sports Exerc 14, 1982, S. 390- 396.
- RÖCKER, L / STOBOY, H.: Die Beziehung zwischen Kraft und statischer Ausdauer unter Motivationsbedingungen. – In: Med. Sachverst. 66, 1970, S. 149-153.
- RÖTHIG, P. [Leit.]: Sportwissenschaftliches Lexikon. - 6. völlig neu bearb. Aufl.- Schorndorf, Hamburg, 1992.
- RUSSELL, W. D.: On the current status of rated perceived exertion.- In: Perceptual and motor skills 84, 1997, S. 799-808.
- SALE, D. G.: Neurale Adaptation im Verlaufe eines Krafttrainings.- In: Kraft und Schnellkraft im Sport / von Paavo V. Komi.- Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.- Köln Dt. Ärzte Verlag 1994, S.:249 - 265.
- SANBORN, K. et al.: Performance effect of weight training with multiple sets not to failure versus a single set to failure in women: a preliminary study.- In: International Conference on Weightlifting and Strength Training von K. Häkkinen (Hrsg.), Conference Book, Lathi 1998, S. 157-158.
- SAUR, P.: Evaluation eines multimodalen Behandlungsprogrammes für Patienten mit chronischen lumbalen Rückenschmerzen.- Aachen, Shaker Verlag, 1998.
- SCHAAP, F. G. / VAN DER VUSSE, G. J. / GLATZ, J. F. C.: Fatty acid-binding proteins in the heart.- In: Mol Cell Biochim 180, 1998, S. 43-51.
- SCHLICHT, W.: Sport und Primärprävention.- Reihe Gesundheitspsychologie, Bd. 4, Göttingen/Bern/Toronto/Seattle, Hogrefe, 1994.
- SCHLUMBERGER, A. / SCHMIDTBLEICHER, D.: Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative – Möglichkeiten und Grenzen. – In.: Leistungssport 3, 1999, S. 9-11.
- SCHLUMBERGER, A. / STEC, J. / SCHMIDTBLEICHER, D.: Single- vs. Multiple-set strength training in women.- In: J Strength Cond Res 15 (3), 2001, S. 284-289.

- SCHMIDTBLEICHER, D./ HEMMLING, G.: Die Auswirkungen eines Trainings mit einer Kombination von maximalen Muskelaktionen auf die Explosiv- und Maximalkraft.- In: Leistungssport 6, 1994, S. 4- 10.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Konzeptionelle Überlegungen zur muskulären Rehabilitation.- In: Med Orth Tech 114, 1994, S. 170-173.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft.- In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (9), 1987, S.356-377.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft.- In: L. d. Leichtathletik 35 (30), 1984, S. 1785-1792.
- SCHNABEL, G. / THIES, G. (Hrsg): Lexikon Sportwissenschaft. Bd 1 + 2.- Berlin: Sportverlag, 1993.
- SCHOLICH, M.: Kreistraining.- Berlin: Sportverlag 1982.
- SCHÜTTE, M.: Sporttreiben selbstbewusst und sinnvoll gestalten: Sinngefüge und Selbstkonzepte in der sportlichen Bewegungskultur.- Münster/Hamburg, Lit, 1993.
- SCHWENKMEZGER, P.: Persönlichkeit und Wohlbefinden.- In: Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik / von Andrea Abele und Peter Becker (Hrsg.).- Weinheim/München, Juventa-Verlag, 1991, S. 119-138.
- SERES, J.L. / NEWMAN, R.I.: Results of treatment of chronic low-back pain at the Portland Pain Center.- In: J Neurosurg 45, 1976, S. 32-36.
- SKINNER, J. S. et al.: The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion.- In: Med Sci Sports 5, 1973, S. 94-96.
- STEED, J. / GAESSER, G. A. / WELTMAN, A.: Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running.- In: Med Sci in Sports Exerc 26, 1994, S. 797-803.
- STEGEMANN, J.: Leistungsphysiologie: physiolog. Grundlagen d. Arbeit u. d. Sports. - 2te, überarb. u. erw. Aufl. - Stuttgart: Thieme, 1977.
- STOBOY, H.: Das Muskeltraining und seine Bedeutung für den atrophierten und normalen Muskel.- In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (9), 1987, S. 377 – 386.
- STORCH, J. / THUMSER, A. E. A.: The fatty acid transport function of fatty acid-binding proteins.- In: Biocim Biophys Acta 1486, 2000, S. 28-44.
- STOWERS, T. et al.: The short-term effects of three different strenght-power training methods.- In: NSCA Journal 5, 1983, S. 24 – 27.
- STRAUß, B / RICHTER-APELT, H.: Fragebogen zur Beurteilung des eigenen Körpers: (FbeK).- Göttingen: Hogrefe, 1996.
- SUZUKI, K. et al.: Endurance exercise causes interaction among stress hormones, cytokines, neutrophil dynamics, and muscle damage.- In: J Appl Physiol 87 (4), 1999, S. 1360-1367.

- SYLVÉN, C. / JANSSON, E. / BÖÖK, K.: Myoglobin content in human skeletal muscle and myocardium: relation to fibre size and oxidative capacity. – In: *Cardiovasc Res* 18, 1984, S. 443-446.
- TALO, S. et al.: Can treatment outcome of chronic low back pain be predicted? – In: *Clin J Pain* 10, 1994, S. 107-121.
- TESCH, P. A./ COLLIANDER, E. B. / KAISER, P.: Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. – In: *Eur J Appl Physiol* 55, 1986, S. 362-366.
- TESCH, P. A.: Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercises. – In: *Med Sports Sci* 26, 1987, S. 67-89.
- THEWS, G.: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen / von Gerhardt Thews; Ernst Mutschler; Peter Vaupel.- 4te durchges. Aufl.- Stuttgart, Wiss. Verl.-Ges., 1991.
- THOMAS, L. / WALB, D.: Niere und Harnwege .- In: *Labor und Diagnose* / von L. Thomas (Hrsg.), Marburg, Die Medizinische Verlagsgesellschaft, 1992, S. 445-488.
- TREASURE, D. / NEWBERRY, D.: Relationship between self-efficacy, exercise intensity, and feeling states in a sedentary population during and following an acute bout of exercise.- In: *J Sports Exerc Psychol* 20, 1998, S. 1-11.
- TRUNZ, E. / FREIWALD, J. / KONRAD, P.: *Fit durch Muskeltraining*.- Reinbek bei Hamburg, 1992.
- TSUTSUMI, T. et al.: Comparison of high and moderate intensity of strenght training on mood and anxiety in older adults.- In: *Percept Mot Skills* 87, 1998, S. 1003-1011.
- TURCOTTE, L. P. / RICHTER, E. A. / KIENS, B.: Increased plasma FFA uptake and oxidation during prolonged exercise in trained vs. untrained humans.- In: *Am J Physiol.* 262 (*Endocrinol. Metabol.* 25), 1992, S. E791-E799.
- TURCOTTE, L. P. et al.: Muscle palmitate uptake and binding are saturable and inhibited by antibodies to FABP(PM).- In: *Mol Cell Biochim* 210 (1-2), 2000, S. 53-63 (abstract).
- TURCOTTE, L. P. et al.: Training-induced elevation in FABP_{PM} is associated with increased palmitate use in contracting muscle.- In: *J Appl Physiol* 87 (1), 1999, S. 285-293.
- UEDA, T. / KUROKAWA, T.: Relationship between perceived exertion and physical variables during swimming.- In: *Int J Sports Med* 16, 1995, S. 385-389.
- VAN NIEUWENHOVEN, F. A. et al.: Discrimination between myocardial and skeletal muscle injury by assessment of the plasma ratio of myoglobin over fatty acid-binding protein. – In: *Circulation* 92 (10), 1995, S. 2848-2854.

- WALKER, C. A. H. / LAMB, K. L. / MARRIOTT, H. E.: The validity of using ratings of perceived exertion to estimate and regulate exercise intensity during stepping ergometry.- In: J Sports Sci 14, 1996, S. 102-103.
- WANNER, H.-U.: Subjektive Einstufung bei Ausdauerbelastung.- In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 4, 1985, S. 104 – 112.
- WEDEKIND, S.: Trainingswissenschaftliche Grundbegriffe: zur Terminologie konditioneller Leistungskomponenten.- Berlin, Bartels und Wernitz, 1985.
- WERSCHOSHANSKIJ, J.V.: Grundlagen des speziellen Krafttrainings.- In: Modernes Krafttraining im Sport - Trainerbibliothek 4 / von D. Adam; J.V. Werschoshanskij.- Berlin, Bartels & Wernitz, 1972, S. 37-148.
- WILDENAU, G.: Über den Einsatz von Myoglobin und h-Fatty Acid Binding Protein in Plasma und Harn zur Diagnostik von Trainingswirkungen.- Inaugural-Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 2000.
- WILLIMCZIK, K.: Biomechanik der Sportarten, Reinbek bei Hamburg, 1989.
- WITTEKOPF, G. / MARHOLD, G. / PIEPER, K.-S.: Biologische und biomechanische Grundlagen der trainingsmethodischen Kategorie "Kraftfähigkeiten" und Methoden ihrer Objektivierung. - In: Med. u. Sport 8, 1981, S. 223-231.
- WYDRA, G.: Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln: sportpädagogische Analysen einer modernen Facette des Sports.- Schorndorf, Hofmann, 1996.
- ZACIORSKIJ, V. M.: Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers.- In: Theorie und Praxis der Körperkultur 20 (2), 1971.
- ZATSIORSKY, V.: Krafttraining - Praxis und Wissenschaft.- Aachen, Meyer & Meyer, 1996.
- ZINTL, F. / HELD, F.: Struktur und Sinn eines modernen Krafttrainings.- In: Rudern / von J.M. Steinacker, Berlin/Heidelberg, Springer Verlag, 1988, S. 197-204.
- ZONDERLAND, M. L. et al.: Different metabolic adaptation of heart and skeletal muscles to moderate-intensity treadmill training in the rat.- In.: Eur J Appl Physiol 79, 1999, S. 391-396.

Fragebogen zum Krafttraining

Alter:

Verletzung:

ggf. Sportart:

Therapiedauer:

1. Haben Sie vorher schon einmal Krafttraining betrieben?
Wenn ja, wie lange, mit welchem Ziel und Zeitaufwand?

2. Wie schätzen Sie ihre momentane allgemeine Fitneß ein:
sehr gut gut mittel schlecht sehr schlecht

Hat sich diese Einschätzung im Laufe der Therapie verändert und wenn ja, wie?

3. Wie schätzen Sie Ihr momentanes Kraftvermögen ein:
sehr gut gut mittel schlecht sehr schlecht

Hat sich diese Einschätzung im Laufe der Therapie verändert und wenn ja, wie?

4. Wie haben Sie die Belastung des Krafttrainingsprogramms empfunden?
Sehr leicht leicht mittelmäßig schwer sehr schwer

5. Fühlten Sie sich eher über- oder unterfordert, war die Belastung und/oder der Zeitaufwand zu groß oder hätten Sie lieber mehr Zeit investiert?

6. Hat sich im Laufe der Therapie etwas verändert (z. B. am Belastungsempfinden, der Motivation und/oder der Trainingseinstellung)?

7. Wie empfanden Sie die Atmosphäre beim Training; haben Sie sich eher wohl oder unwohl gefühlt (z. B. in Hinsicht auf die Betreuung, das Umfeld, das gemeinsame Training mit anderen Patienten)?

-
8. Hat oder hatte das Training Auswirkungen auf Ihren Alltag und falls ja, welche (z. B. auf den Beruf, die Bewältigung der alltäglichen Dinge o. ä.)?
9. Hat oder hatte das Training Einfluß auf den Umgang mit anderen Menschen (z. B. auf die Kontaktfreudigkeit, Freundeskreis o. ä.) ?
10. Hat oder hatte das Training irgendwelche Auswirkungen auf Ihr Wohlempfinden (z. B. auf Ausgeglichenheit, Zufriedenheit, Selbstbewußtsein, Selbstwertgefühl oder aber auch auf Infektanfälligkeit, körperliche/geistige Leistungsfähigkeit etc.)?
11. Glauben Sie, daß Sie ein besseres Körpergefühl/-bewußtsein entwickelt haben?
Wenn ja, inwiefern macht sich das bemerkbar?
12. Was haben Sie sich von der Therapie erwartet und haben Sie diese Ziele oder auch vorher nicht erwartete Ziele erreicht?
13. Haben Sie am Krafttraining Gefallen gefunden und würden Sie das Training nach Ende der Therapie gerne fortführen?
Wenn ja, warum und würden Sie ggf. etwas im Trainingsplan verändern wollen (z. B. Belastungsintensität, mehr/weniger Geräte, andere Geräte oder Übungen o. ä.)?

PATIENTENINFORMATION

Sehr geehrter Patient !

Von uns wurde ein neues System zur Steuerung der physischen Belastung in der Rehabilitation entwickelt.

Dieses System erlaubt es, die zu Ihrer Rehabilitation nötigen Belastungen so zu steuern, daß sowohl Über- als auch Unterforderungen umgangen werden.

Somit wird es Ihnen ermöglicht, einen optimalen Nutzen aus den Rehabilitationsmaßnahmen zu ziehen.

Aus diesem Grunde ist es nötig, verschiedene Stoffe in Ihrem Blut und Urin zu bestimmen. Die dafür nötigen Blut- und Urinentnahmen würden in einem 14-tägigen Rhythmus vor und nach Ihrem Aufenthalt in den Rehabilitationseinrichtungen stattfinden.

Die venöse Blutentnahme erfolgt mit einer Hohlnadel und kann in seltenen Fällen zu einer Nachblutung und damit zur Bildung eines kleinen blauen Fleckes, einer örtlichen oder allgemeinen Entzündung führen.

Die Teilnahme an dieser Untersuchung ist vollkommen freiwillig. Sie gehen keine Verpflichtungen irgendeiner Art ein. Natürlich können sie jederzeit ohne Nennung von Gründen Ihre Zusammenarbeit mit uns beenden, ohne daß Ihnen Nachteile daraus erwachsen.

Für weitere Fragen wenden Sie sich bitte persönlich an uns. Wir sind gerne bereit, Ihre Fragen zu beantworten.

Für telefonische Rückfragen: 0551-395692

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Name:

Vorname:

Hiermit erkläre ich mich mit der Teilnahme an der Studie zur Belastungssteuerung in der Rehabilitation einverstanden.

Ich wurde ausreichend mündlich und schriftlich über Art, Durchführung und Dauer der Untersuchungen informiert. Alle meine diesbezüglichen Fragen wurden beantwortet.

Ich wurde über die möglichen Risiken der venösen Blutabnahme aufgeklärt:

- Nachblutung mit Bildung eines blauen Fleckes (Hämatom),
- örtliche oder allgemeine Entzündung (Infektion / Sepsis)
- Reizung eines Nerven mit nachfolgenden Fehlempfindungen oder Schmerzen.

Mit der Speicherung und Auswertung der zu meiner Person erhobenen Daten unter der Wahrung der Anonymität bin ich einverstanden.

Die Einwilligung kann jederzeit widerrufen werden, ohne daß mir daraus Nachteile entstehen.

GÖTTINGEN.....(Datum)

.....

(Teilnehmer)

.....

(Untersucher)

Anhand der Krafttests ermittelte Max.-Gewichte (in kg) bzw. Drehmomente (in N) der Gruppen G1 bis G3 im Trainingsverlauf sowie die prozentuale Gesamtzunahme am Trainingsende

Gruppe	Proband	Trainingswoche	Latzug kg	Dip kg	Butterfly kg	Beinpresse kg	Isokinetik Ext. Max.-Drehm	Isokinetik Flex. Max.-Drehm
G r u p p e G1	P1	W 0	45	42,5	70	150	155,1	110,1
		W 1+2	47,5	47,5	75	150	182,4	130,9
		W 3+4	50	50	80	160		
		W 5+6	52,5	50	80	170	210,4	147,6
		% Zunahme	16,7%	17,6%	14,3%	13,3%	35,7%	34,1%
	P2	W 0	45	37,5	65	150	157,9	140,2
		W 1+2	45	42,5	70	155	152,9	130,5
		W 3+4	47,5	47,5	75	160		
		W 5+6	47,5	50	75	160	158,6	138,2
		% Zunahme	5,6%	33,3%	15,4%	6,7%	0,4%	-1,4%
	P3	W 0	22,5	20	27,5	70	68,3	63,8
		W 1+2	25	22,5	30	80	56,5	65,7
		W 3+4	27,5	25	40	90	65,9	65,3
		W 5+6	30	27,5	40	110	70,7	67,2
		% Zunahme	33,3%	37,5%	45,5%	57,1%	3,5%	5,3%
	P4	W 0	32,5	35	50	90	88,6	84,2
		W 1+2	35	37,5	55	100	83	71,6
		W 3+4	35	37,5	60	110		
		W 5+6	35	37,5	65	120	94,00	79,10
		% Zunahme	7,7%	7,1%	30,0%	33,3%	6,1%	-6,1%
P5	W 0	27,5	27,5	40	120	69,9	68,6	
	W 1+2	30	30	40	120	74,7	61,7	
	W 3+4	30	30	40	130	88,6	69,2	
	W 5+6	32,5	32,5	45	130	92,7	69,6	
	% Zunahme	18,2%	18,2%	12,5%	8,3%	32,6%	1,5%	
G r u p p e G2	P6	W 0	32,5	32,5	45	90	83	77,1
		W 1+2	32,5	32,5	45	120	78,9	77,5
		W 3+4	32,5	35	45	140		
		W 5+6	35	35	55	150	82,9	78,6
		% Zunahme	7,7%	7,7%	22,2%	66,7%	-0,1%	1,9%
	P7	W 0	42,5	47,5	70	150	132	114
		W 1+2	47,5	47,5	75	150	143	115,4
		W 3+4	50	47,5	80	160		
		W 5+6	52,5	50	85	175	143,5	99,3
		% Zunahme	23,5%	5,3%	21,4%	16,7%	8,7%	-12,9%
P8	W 0	30	30	50	90	65,9	59,9	
	W 1+2	32,5	30	50	110	72,4	65,9	
	W 3+4	35	32,5	55	120	79,1	64,8	
	W 5+6	35	35	55	120	87,6	68,9	
	% Zunahme	16,7%	16,7%	10,0%	33,3%	32,9%	15,0%	
G r u p p e G3	P9	W 0	37,5	40	60	150	127,8	99,3
		W 1+2	42,5	42,5	65	160	136,6	134,5
		W 3+4	45	45	65	165		
		W 5+6	50	52,5	80	170	158,9	139,3
		% Zunahme	33,3%	31,3%	33,3%	13,3%	24,3%	40,3%
	P10	W 0	42,5	47,5	70	150	129,6	124,1
		W 1+2	50	50	80	160	146,9	139,3
		W 3+4	52,5	55	85	170		
		W 5+6	55	60	90	175	149,8	154,5
		% Zunahme	29,4%	26,3%	28,6%	16,7%	15,6%	24,5%
P11	W 0	35	45	50	140	110,7	81,1	
	W 1+2	37,5	45	60	150	123,5	82,9	
	W 3+4	37,5	45	60	155			
	W 5+6	37,5	47,5	65	165	141,1	90,5	
	% Zunahme	7,1%	5,6%	30,0%	17,9%	27,5%	11,6%	

Leistung und Arbeit der Gruppen G1 bis G3 bezogen auf die Körpermasse im Verlauf der Trainingswochen sowie die prozentuale Zunahme nach Ende des Trainings

Gruppe	Proband	Datum	Arbeit				Leistung				
			Isokinetik	Isokinetik	Geräte	Summe	Isokinetik	Isokinetik	Geräte	Summe	
			Ext.[J/kg]	Flex. [J/kg]	J/kg	J/Kg	Ext.[W/kg]	Flex. [W/kg]	Watt/Kg	Watt/kg	
G r u p p e G1	P1	W 0	0,8	0,6	4,93	6,33	1	0,65	6,81	8,46	
		W 1+2	1,1	0,65	5,22	6,97	1,1	0,75	7,28	9,13	
		W 3+4	1,2	0,9	5,55	7,65	1,3	1,05	7,74	10,09	
		W 5+6	1,35	0,95	5,83	8,13	1,5	1,1	8,1	10,7	
		Zunahme	68,8%	58,3%	18,3%	28,4%	50,0%	69,2%	18,9%	26,5%	
		P2	W 0	1	0,95	5,14	7,09	1	1	7,1	9,1
		W 1+2	1,05	0,9	5,14	7,09	1,15	0,95	7,17	9,27	
		W 3+4	1,1	0,9	5,26	7,26	1,15	1	7,91	10,06	
		W 5+6	1,1	0,9	5,46	7,46	1,3	1,05	7,76	10,11	
		Zunahme	10,0%	-5,3%	6,2%	5,2%	30,0%	5,0%	9,3%	11,1%	
		P3	W 0	0,55	0,6	4,46	5,61	0,6	0,65	5,17	6,42
		W 1+2	0,7	0,6	4,46	5,76	0,65	0,58	5,17	6,4	
		W 3+4	0,85	0,75	5,14	6,74	0,8	0,68	7,07	8,55	
		W 5+6	0,875	0,8	5,81	7,485	0,83	0,75	8,49	10,07	
		Zunahme	59,1%	33,3%	30,3%	33,4%	38,3%	15,4%	64,2%	56,9%	
		P4	W 0	0,8	0,65	4,68	6,13	0,85	0,9	4,76	6,51
		W 1+2	0,75	0,65	4,68	6,08	0,9	0,75	4,76	6,41	
		W 3+4	0,8	0,7	4,68	6,18	1	0,75	4,9	6,62	
		W 5+6	0,9	0,7	5,35	6,95	1	0,8	5,9	7,65	
		Zunahme	12,5%	7,7%	14,3%	13,4%	17,6%	-11,1%	22,9%	17,5%	
	P5	W 0	0,75	0,78	4,89	6,42	0,7	0,68	5,29	6,67	
	W 1+2	0,6	0,78	4,89	6,27	0,53	0,68	5,29	6,5		
	W 3+4	0,75	0,78	5,49	7,02	0,65	0,78	6,51	7,94		
	W 5+6	0,78	0,88	6,07	7,73	0,68	0,68	7,13	8,49		
	Zunahme	4,0%	12,8%	24,1%	20,4%	-2,9%	0,0%	34,8%	27,3%		
G r u p p e G2	P6	W 0	0,81	0,94	5,89	7,64	0,72	0,85	6,54	8,11	
		W 1+2	0,91	1	5,89	7,8	0,81	0,91	6,54	8,26	
		W 3+4	0,94	1,04	6,46	8,44	0,81	0,98	8,68	10,47	
		W 5+6	1,04	1,07	6,93	9,04	0,88	0,98	9,51	11,37	
		Zunahme	28,4%	13,8%	17,7%	18,3%	22,2%	15,3%	45,4%	40,2%	
		P7	W 0	0,91	1,49	6,59	8,99	1,5	1,7	7,54	10,69
		W 1+2	1,66	1,66	6,59	9,91	1,4	1,5	7,64	10,5	
		W 3+4	1,66	1,66	7,3	10,62	1,4	1,4	8,68	11,54	
		W 5+6	1,66	1,66	7,66	10,98	1,6	1,7	9,21	12,43	
		Zunahme	82,4%	11,4%	16,2%	22,1%	4,7%	0,0%	22,1%	16,3%	
		P8	W 0	1,69	1,66	6,86	10,21	1,78	1,66	8,61	12,05
		W 1+2	2,02	1,82	7,26	11,1	1,89	1,78	9,13	12,8	
		W 3+4	2,02	1,69	7,47	11,18	1,95	1,69	9,33	12,97	
	W 5+6	2,08	1,78	7,91	11,77	2,02	1,69	9,85	13,56		
	Zunahme	23,1%	7,2%	15,3%	15,3%	13,5%	1,8%	14,4%	12,5%		
G r u p p e G3	P9	W 0	2,81	2,38	8,6	13,79	2,89	2,47	6,82	12,18	
		W 1+2	2,98	2,38	9,05	14,41	2,81	3,15	7,14	13,1	
		W 3+4	3,4	3,32	9,61	16,33	3,15	3,4	7,63	14,18	
		W 5+6	3,66	3,57	9,61	16,84	3,57	3,57	7,71	14,85	
		Zunahme	30,2%	50,0%	11,7%	22,1%	23,5%	44,5%	13,0%	21,9%	
		P10	W 0	2,81	2,64	9,63	15,08	2,64	2,55	8,2	13,39
		W 1+2	3,06	3,23	10,11	16,4	2,72	2,98	8,49	14,19	
		W 3+4	3,15	3,49	10,97	17,61	2,89	3,06	9,44	15,39	
		W 5+6	3,4	3,91	11,38	18,69	2,98	3,57	9,69	16,24	
		Zunahme	21,0%	48,1%	18,2%	23,9%	12,9%	40,0%	18,2%	21,3%	
		P11	W 0	3	2,4	8,17	13,57	3,15	2,47	6,52	12,14
		W 1+2	3,23	2,7	8,28	14,21	3,57	2,38	6,65	12,6	
		W 3+4	3,9	2,7	8,86	15,46	3,57	2,47	7,03	13,07	
		W 5+6	3,49	2,8	8,86	15,15	3,91	2,64	7,18	13,73	
	Zunahme	16,3%	16,7%	8,4%	11,6%	24,1%	6,9%	10,1%	13,1%		

Anhand der Krafttests ermittelte Max.-gewichte (in kg) der Gruppe G4 sowie die prozentuale Gesamtzunahme am Trainingsende

Proband	Trainingswoche	Geräte					
		Beinstrecker	Beinpresse	Flachbank	Schrägbank	Rudern	Latzug
P1	W0	170	260	55	40	70	80
	W1-2	180	240	60	50	80	85
	W3-4	180	270	60	50	85	85
	W5-6	185	275	65	55	90	85
	Zunahme	8,8%	5,8%	18,2%	37,5%	28,6%	6,3%
P2	W0	150	270	45	35	70	75
	W1-2	170	270	45	40	75	80
	W3-4	170	270	50	45	85	80
	W5-6	180	290	60	50	90	85
	Zunahme	20,0%	7,4%	33,3%	42,9%	28,6%	13,3%
P3	W0	130	240	40	35	65	60
	W1-2	160	260	42,5	37,5	70	65
	W3-4	170	280	47,5	40	75	65
	W5-6	180	290	50	45	85	75
	Zunahme	38,5%	20,8%	25,0%	28,6%	30,8%	25,0%
P4	W0	110	240	40	30	55	55
	W1-2	135	265	42,5	37,5	60	60
	W3-4	140	265	47,5	40	60	65
	W5-6	140	270	50	45	65	65
	Zunahme	27,3%	12,5%	25,0%	50,0%	18,2%	18,2%
P5	W0	170	260	50	45	75	75
	W1-2	180	260	50	45	75	75
	W3-4	185	265	55	52,5	80	80
	W5-6	190	270	60	52,5	80	80
	Zunahme	11,8%	3,8%	20,0%	16,7%	6,7%	6,7%

**Leistung und Arbeit der Gruppe G4 bezogen auf die Körpermasse
im Verlauf der Trainingswochen**

Proband	Trainingswoche	Arbeit					
		Beinstrecker	Beinpresse	Flachbank	Schrägbank	Rudern	Latzug
		J/kg	J/kg	J/kg	J/kg	J/kg	J/kg
P1	W1-2	251,1	341,8	77,5	72,1	211,9	168,2
	W3-4	313,9	369,8	125,9	123,6	211,9	192,3
	W5-6	345,3	369,8	135,6	133,9	238,4	216,3
P2	W1-2	304,1	338,5	151,1	154,5	309	220,7
	W3-4	334,5	355,6	161,9	154,5	309	220,7
	W5-6	334,5	355,6	172,7	165,5	309	220,7
P3	W1-2	282,5	441	126,5	103,7	256	234
	W3-4	451,3	441	158,2	156,2	304,6	259,9
	W5-6	451,3	441	168,7	168,2	338,4	259,9
P4	W1-2	267,8	315,5	105,9	107,9	133,9	144,2
	W3-4	243,3	341,4	114,8	117,7	153	164,8
	W5-6	258,5	341,4	141,3	137,3	153	164,8
P5	W1-2	294,3	387,3	133,9	110,4	216,3	255,1
	W3-4	323,7	368,1	162,6	165,5	240,3	255,1
	W5-6	323,7	379,1	172,2	176,6	264,4	280,6

Proband	Trainingswoche	Leistung					
		Beinstrecker	Beinpresse	Flachbank	Schrägbank	Rudern	Latzug
		W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
P1	W1-2	175,83	351,28	91,03	78,43	193,33	155,63
	W3-4	259,45	352,23	134,73	124,25	265,73	161,65
	W5-6	297,73	352,23	145,10	138,40	299,90	199,88
P2	W1-2	407,78	420,65	199,98	186,55	375,08	276,30
	W3-4	460,43	517,30	212,03	216,90	447,88	279,28
	W5-6	458,75	509,93	240,73	238,25	436,95	314,53
P3	W1-2	298,78	561,53	146,30	120,48	278,78	262,90
	W3-4	578,98	559,83	176,10	138,38	374,00	327,33
	W5-6	573,65	574,80	192,95	200,38	427,45	323,08
P4	W1-2	343,50	333,00	120,75	133,63	156,45	164,85
	W3-4	348,88	399,85	145,30	159,20	207,90	217,20
	W5-6	370,65	396,08	181,13	193,48	196,88	222,93
P5	W1-2	417,83	442,80	160,90	141,63	246,10	285,23
	W3-4	439,28	428,30	195,40	213,78	269,48	285,23
	W5-6	437,63	441,90	207,48	234,05	298,03	320,80

**Anhand der Krafttests ermittelte Max.-Gewichte (in kg) der Gruppe G5
sowie die prozentuale Gesamtzunahme am Trainingsende**

Proband	Trainingswoche	Geräte			
		Dip	Latzug	Butterfly	Beinpresse
P1	W 0	43,8	36,8	40	80
	W 1+2	43,1	42,4	44,6	100
	W 3+4	43,7	37,5	46,2	115
	W 5+6	43,9	40,5	47,6	125
	Zunahme	0,2%	10,1%	19,0%	56,3%
P2		Dip	Beinstuhl (beugen)	Butterfly	Beinpresse
	W 0	33,6	42,4	43,9	80
	W 1+2	40,3	45,5	53,6	83,3
	W 3+4	45,8	50	66,7	84,7
	W 5+6	47,6	58,3	69,2	88,2
	Zunahme	41,7%	37,5%	57,6%	10,3%
P3		Butterfly	Dip	Latzug	Beinpresse
	W 0	53,8	38,5	45	90,9
	W 1+2	63,6	45,5	50	122,8
	W 3+4	83,3	57	53,8	163,6
	W 5+6	90,9	62,5	61,4	183,3
	Zunahme	69,0%	62,3%	36,4%	101,7%
P4		Dip	Oberschenkelbank	Butterfly	Beinpresse (einbeinig)
	W 0	81,8	25,4	116,7	203,4
	W 1+2	90,9	31,3	122,8	224,1
	W 3+4	88,2	58,3	141,5	254,5
	W 5+6	90,9	60,6	135,6	264,2
	Zunahme	11,1%	138,6%	16,2%	29,9%
P5		Dip	Beinstuhl	Butterfly	Beinpresse
	W 0	26,9	25	27	33,3
	W 1+2	30,7		33,3	
	W 3+4	33,9	26,3	37,3	34,5
	W 5+6	37,5	32,3	38,5	39,7
	Zunahme	39,4%	29,2%	42,6%	19,2%

**Leistung und Arbeit der Gruppe G5 bezogen auf die Körpermasse im Verlauf der Trainingswochen
sowie die prozentuale Zunahme nach Ende des Trainings**

Proband	Trainingswoche	Arbeit				Leistung			
		Dip J/kg	Latzug J/kg	Butterfly J/kg	Beinpresse J/kg	Dip W/kg	Latzug W/kg	Butterfly W/kg	Beinpresse W/kg
P1	W1+2	1,65	1,69	0,45	0,84	0,97	0,89	0,27	0,42
	W3+4	1,65	1,99	0,46	1,05	1,09	1,17	0,31	0,58
	W5+6	1,81	1,99	0,49	1,26	1,24	1,25	0,34	0,74
	Zunahme	9,7%	17,8%	8,9%	50,0%	27,8%	40,4%	25,9%	76,2%
P2	W1+2	0,97		0,39	0,66	0,48		0,18	0,26
	W3+4	1,21		0,57	0,88	0,67		0,3	0,42
	W5+6	1,33		0,67	1,10	0,78		0,36	0,55
	Zunahme	37,1%		71,8%	66,7%	62,5%		100,0%	111,5%
P3	W1+2	1,33	2,22	0,46	1,48	0,49	0,92	0,2	0,78
	W3+4	1,55	2,50	0,58	1,77	0,67	1,22	0,3	1,11
	W5+6	1,77	3,21	0,73	2,36	0,83	1,69	0,38	1,58
	Zunahme	33,1%	44,6%	58,7%	59,5%	69,4%	83,7%	90,0%	102,6%
P4	W1+2	0,60	1,56	0,22	0,74	0,3	0,71	0,1	0,32
	W3+4	0,60	1,56	0,22	0,74	0,33	0,78	0,11	0,39
	W5+6	0,68	1,78	0,30	0,74	0,38	0,99	0,17	0,44
	Zunahme	13,3%	14,1%	36,4%	0,0%	26,7%	39,4%	70,0%	37,5%
P5	W1+2	1,45		0,57	2,67	1,28		0,44	2,53
	W3+4	1,45		0,59	2,67	1,36		0,51	2,53
	W5+6	1,55		0,63	2,67	1,46		0,59	2,69
	Zunahme	6,9%		10,5%	0,0%	14,1%		34,1%	6,3%

**Anhand der Krafttests ermittelte Max.-Gewichte (in kg) der Gruppe
G5 sowie die prozentuale Gesamtzunahme am Trainingsende**

Proband	Trainingswoche	Geräte			
		Dip	Latzug	Butterfly	Beinpresse
P1	W 0	43,8	36,8	40	80
	W 1+2	43,1	42,4	44,6	100
	W 3+4	43,7	37,5	46,2	115
	W 5+6	43,9	40,5	47,6	125
	Zunahme	0,2%	10,1%	19,0%	56,3%
P2		Dip	Beinstuhl (beugen)	Butterfly	Beinpresse
	W 0	33,6	42,4	43,9	80
	W 1+2	40,3	45,5	53,6	83,3
	W 3+4	45,8	50	66,7	84,7
	W 5+6	47,6	58,3	69,2	88,2
Zunahme	41,7%	37,5%	57,6%	10,3%	
P3		Butterfly	Dip	Latzug	Beinpresse
	W 0	53,8	38,5	45	90,9
	W 1+2	63,6	45,5	50	122,8
	W 3+4	83,3	57	53,8	163,6
	W 5+6	90,9	62,5	61,4	183,3
Zunahme	69,0%	62,3%	36,4%	101,7%	
P4		Dip	Oberschenkelbank	Butterfly	Beinpresse (einbeinig)
	W 0	81,8	25,4	116,7	203,4
	W 1+2	90,9	31,3	122,8	224,1
	W 3+4	88,2	58,3	141,5	254,5
	W 5+6	90,9	60,6	135,6	264,2
Zunahme	11,1%	138,6%	16,2%	29,9%	
P5		Dip	Beinstuhl	Butterfly	Beinpresse
	W 0	26,9	25	27	33,3
	W 1+2	30,7		33,3	
	W 3+4	33,9	26,3	37,3	34,5
	W 5+6	37,5	32,3	38,5	39,7
Zunahme	39,4%	29,2%	42,6%	19,2%	

Ergebnisse der Vergleichsreihe zwischen den Maximalkrafttests EWM und LWV für die verschiedenen Geräte

Beinstrecker					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
110	12	70	157,0	190	17,4
80	16	65	123,0	140	12,1
100	16	65	153,8	170	9,5
110	16	65	169,0	180	6,1
100	24	58	172,4	170	1,4
140	9	77,5	180,6	175	3,2
100	27	56,5	177,0	170	4,1
110	24	58	190,0	180	5,6

Beinpresse (IFS)					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
160	10	74,5	215,0	270	20,4
170	36	52	327,0	265	23,4
175	43	49	357,0	295	21,0
185	21	59,5	310,0	305	1,6
185	32	54	343,0	295	16,3
185	40	50	370,0	295	25,4
245	10	74,5	329,0	305	7,9

Latzug (Reha)					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
12,5	80	40	31,3	25	25,2
17,5	60	45	38,9	30	29,7
22,5	34	53	42,5	32,5	30,8
22,5	38	51	44,1	35	26,0
25	17	64	39,1	30	30,3
25	17	64	39,1	35	11,7
25	28	56,0	44,6	37,5	18,9
25	21	59,5	42,0	35,0	20,0
27,5	37	52,0	52,9	35,0	51,1
27,5	37	52,0	43,3	32,5	33,2

Dip					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
12,5	57	45,5	27,5	22,5	22,2
17,5	39	50,5	34,7	30	15,7
20	40	50	40,0	30	33,3
22,5	30	55	40,1	32,5	23,4
25	30	55	45,5	30	51,7
25	17	64	39,1	37,5	4,3
25	29	55,5	45,0	37,5	20,0
25	42	49,0	51,0	35,0	45,7
25	25	57,0	43,9	35,0	25,4
26	38	51,0	44,1	30,0	47,0

Butterfly					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
15	34	53	28,3	30	5,7
20	32	54	37,0	40	7,5
25	20	60	41,7	40	4,3
30	18	62,5	48,0	40	20,0
30	20	60	50,0	55	9,1
30	24	58	51,7	45	14,9
30	20	60	50,0	55	9,1
35	30	55	63,6	50	27,2
40	17	64	62,5	55	13,6
40	20	60	75,0	60	25,0

Flachbank					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
32,5	19	61	53,3	57,5	7,3
37,5	22	59	63,5	55	15,5
40	22	59	67,8	60	13,0
40	28	56	71,4	65	9,8
42,5	11	72	59,0	57,5	2,6
42,5	24	58	73,7	70	5,3
45	5	85	53,0	57,5	7,8
45	22	59	76,3	70	9,0

Schrägbank					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
32,5	12	70	46,4	50	7,2
32,5	20	60	54,2	50	8,4
35	18	62,5	56,0	55	1,8
37,5	18	62,5	60,0	60	0,0
37,5	20	60	62,5	60	4,2
40	8	80	50,0	50	0,0
40	15	66	60,1	60	0,2

Latzug (IFS)					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
40	20	60	66,7	65	2,6
40	20	60	66,7	65	2,6
45	19	61	73,8	75	1,6
50	32	54	92,6	80	15,8
50	25	57,5	87,0	85	2,4
55	25	57,5	95,7	80	19,6
55	28	56	98,2	85	15,5
65	8	80	68,8	65	5,8

Rudern					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
40	19	61	65,6	75	12,5
40	16	65	61,5	65	5,4
45	24	58	77,8	75	3,7
45	16	65	69,2	75	7,7
50	24	58	86,2	85	1,4
50	22	59	84,7	80	5,9
50	21	59,5	84,0	85	1,2
60	7	82	73,2	75	2,4

Beinpresse (Reha)					
LWV				EWM	Abw.
Testgewicht (kg)	Wdh.	% Fmax	Fmax (kg)	Fmax (kg)	(in %)
40	75	41	97,6	80	22,0
60	72	42	143,0	120	19,2
60	20	60	100,0	100	0,0
70	80	40	175,0	110	59,1
80	50	47,5	168,0	120	40,0
90	55	46	196,0	130	50,8

**Mittelwerte der Prä- und Postbelastungswerte für H-FABP und Myoglobin
sowie der prozentuale Anstieg für die Gruppen G1-G5**

Gruppe	Probenahme	H-FABP 1	H-FABP 2	H-FABP	Myoglobin 1	Myoglobin 2	Myoglobin
	G1	ng/ml	ng/ml	Anstieg in %	ng/ml	ng/ml	Anstieg in %
G 1	P-W0	0,91	2,68	193,11%	19,85	66,27	233,84%
	P-W2	0,95	1,23	28,62%	18,96	49,44	160,74%
	P-W3	1,02	1,73	70,14%	25,19	51,94	106,25%
	P-W4	1,19	1,64	38,36%	23,64	48,73	106,15%
	P-W5	1,37	1,35	-1,25%	19,83	38,17	92,52%
	P-W6	1,26	1,60	26,65%	23,15	50,67	118,86%
Mittelwerte	PWO-PW6	1,12	1,70	59,27%	21,77	50,87	136,39%
G 2	P-W0	0,62	0,87	40,19%	15,22	32,16	111,31%
	P-W2	0,56	0,71	26,74%	19,01	28,52	50,06%
	P-W3	1,34	4,71	252,84%	22,27	64,98	191,76%
	P-W4	0,99	1,36	37,65%	15,98	12,96	-18,91%
	P-W5	1,58	2,32	46,71%	19,14	30,41	58,88%
	P-W6	0,79	1,21	53,16%	18,94	22,14	16,85%
Mittelwerte	PWO-PW6	0,98	1,86	76,22%	18,43	31,86	68,33%
G 3	P-W0	0,66	1,05	58,13%	14,58	41,79	186,63%
	P-W2	0,60	0,77	28,36%	18,92	29,86	57,82%
	P-W3	0,69	1,34	92,94%	25,85	25,57	-1,08%
	P-W4	1,55	1,79	15,77%	19,22	18,44	-4,06%
	P-W5	1,14	2,04	78,97%	16,57	25,13	51,66%
	P-W6	1,09	1,75	60,77%	18,74	24,27	29,51%
Mittelwerte	PWO-PW6	0,96	1,46	55,82%	18,98	27,51	53,41%
G 4	P-W0	1,94	3,15	62,42%	17,28	34,12	97,47%
	P-W2	1,32	1,81	36,71%	22,91	41,78	82,39%
	P-W3	1,35	2,50	84,64%	20,14	39,12	94,27%
	P-W4	1,53	2,47	61,52%	31,05	49,92	60,81%
	P-W5	1,59	4,96	211,50%	18,44	24,05	30,37%
	P-W6	0,58	1,04	78,66%	19,46	74,10	280,72%
Mittelwerte	PWO-PW6	1,39	2,65	89,24%	21,55	43,85	107,67%
G 5	P-W0	0,44	0,61	38,01%	31,17	79,62	155,44%
	P-W6	0,34	0,45	31,58%	42,13	78,42	86,14%
Mittelwerte	PWO+PW6	0,39	0,53	34,79%	36,65	79,02	120,79%

Lebenslauf

von

Amke Lottmann

Geburtsdatum: 25.09.1962
Geburtsort: Engerhafe (Krs. Aurich)
Staatsangehörigkeit: deutsch

1969 - 1973 Besuch der Grundschule in Bremerhaven.
1973 - 1982 Besuch des Otto-Hahn-Gymnasiums in Göttingen.
Mai 1982 Abitur.
Okt. 1982 Studienbeginn im Fachbereich Geowissenschaften an der Universität Göttingen; Hauptfach Geographie, Nebenfächer Geologie und Soziologie.

Okt. 1983 - Juni 1990 Geologiestudium im Hauptfach an der Universität Göttingen.
Juni 1990 Diplomprüfung Geologie (Gesamtnote: Sehr gut).
Juni 1990 - Dez. 1990 Wissenschaftliche Hilfskraft in der strukturgeologischen Abteilung der Universität Göttingen bei Herrn Prof. Weber.

Jan. 1991 - Apr. 1992 Beschäftigung als Geologin im Baugrund-Institut Kassel in der Abteilung Umweltgeologie.

Apr. 1992 - Dez. 1992 Freie Mitarbeiterin beim Baugrund-Institut Kassel.
Juli 1992 Immatrikulation an der Universität Göttingen im Fachbereich Sozialwissenschaften; Studienfach Sportwissenschaften.

Okt. 1996 Beginn der Promotion in der sportmedizinischen Abteilung des Instituts für Sportwissenschaften bei Herrn Prof. Dr. Dr. Niklas.

Mai 1998 Magisterprüfung Sportwissenschaften (Gesamtnote: Sehr gut).
Mai 1995 - Aug. 1998 Freie Mitarbeiterin in der Medizinischen Trainingstherapie (Sporttherapie) im Rehabilitations-Zentrum "Rainer Junge" in Göttingen.

Sept. 1998 – Aug. 1999 Hauptamtliche Projektleiterin beim Sportclub Rosdorf 1913 e. V.; Verantwortlich für die Planung und das Marketing beim Bau einer multifunktionalen Sportstätte.

seit Aug. 2000: Hauptamtliche Sportwissenschaftlerin bei der WASPO 08 Göttingen. Tätigkeitsbereiche: Leitung des Projekts „Schule und Verein“; Organisation und Koordination des Sportbetriebs des Vereins; Aus- und Weiterbildung der Übungsleiter.

Erklärung

Ich versichere, dass ich die eingereichte Dissertation „Untersuchungen zur Optimierung der Belastungssteuerung im Krafttraining durch Kombination verschiedener Methoden der trainingsbegleitenden Leistungsdiagnostik“ selbständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel verfasst habe. Anderer als der von mir angegebenen Hilfsmittel und Schriften habe ich mich nicht bedient. Alle wörtlich oder sinngemäß den Schriften anderer Autoren entnommenen Stellen habe ich kenntlich gemacht.

.....
Amke Lottmann

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. André Niklas danke ich für die Betreuung der Arbeit, die Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik und nicht zuletzt für seine Geduld. Für die Übernahme des Zweitgutachtens danke ich Herrn Prof. Dr. Arndt Krüger.

Für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung gilt mein Dank den Mitarbeitern der Sportmedizin am Institut für Sportwissenschaften, Frau Wenisch, Frau Asendorf, Frau Dr. Hillmer-Vogel und Herrn Hottowitz.

Herrn Junge vom REHA-Zentrum „Rainer Junge“ danke ich für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und Trainingsgeräte sowie all seinen Mitarbeitern für ihre freundliche und tatkräftige Hilfe. Für die ärztliche Schirmherrschaft im REHA-Zentrum gilt mein Dank Frau Dr. Oberdieck.

Herrn Wildenau danke ich für die Zusammenarbeit.

Für die kritische Durchsicht der Manuskripte gilt mein herzlicher Dank Ulrich und Reemt Lottmann. Herrn Jochen Dornbusch und vor allem Herrn Bertram Kleff danke ich für ihre Hilfe bei computertechnischen Fragen.

Nicht zuletzt mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinem Ehemann für ihre Geduld und Unterstützung bei dem langjährigen Vorhaben.